Untersuchungen über die Vokale.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin der medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Ludwigs-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Edward Wheeler Scripture.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1906.

Untersuchungen über die Vokale.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin der medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Ludwigs-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Edward Wheeler Scripture.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1906.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität München.

Referent: Herr Professor Dr. C. Voit.

I. Untersuchungen mittels Luftdruckänderungen.

Zur Registrierung der Luftdruckänderungen und der Stimmlippenschwingungen beim Sprechen habe ich teils eine gewöhnliche Mareysche Schreibkapsel, teils eine kleinere von Rousselot vorgeschlagene Modifikation angewandt. Mittels eines Gummischlauches war die Kapsel mit einem kleinen Trichter verbunden. Man spricht in den Trichter hinein, und die Luftbewegungen werden auf einer berufsten Trommel registriert.

Die Schreibspitze der Kapsel soll die schwach berufste Papierfläche nur ganz leise berühren; auf diese Weise erhält man sehr feine, zum Messen geeignete Linien.

Bei derartigen Versuchen mufs die Registriertrommel mit einer gleichmäfsigen Geschwindigkeit von nicht unter 1 mm pro Sekunde gehen, und dabei eine ziemlich lange Laufzeit besitzen. Dies erreicht man am vollkommensten mit genau regulierbarem elektrischem Antrieb[1]); da aber eine solche Einrichtung selten vorhanden ist, wird man auf die üblichen Uhrwerktrommeln angewiesen sein. Da die Trommelgeschwindigkeit fortwährend im Abnehmen ist, soll man eine Zeitlinie unmittelbar vor und nach

1) Mittels ein, zwei oder mehr Achsen in verstellbaren Lagern und darauf gesetzten Zahnrädern und Schnecken kann man einen dauernden Gang mit beliebiger Geschwindigkeit erzielen. Solche Lager sind in meinen Researches in Experimental Phonetics (Carnegie Institution) Ch. I abgebildet.

jeder Registrierung auftragen, also nach jeder Serie von Wörtern, nach jedem Satz usw. Dies macht man am besten mit einer mit Schreibspitze versehenen Stimmgabel, welche mit freihändig an die Trommel schnell an gewünschter Stelle gebracht wird. Das Mittel aus der vor und nach der Registrierung aufgezeichneten Zeitlinien liefert die Zeitgleichung.

Um über Eigenton und Dämpfung des Systems — Hebel, Membrane, Luftsäule — ein Urteil zu bekommen, befestigt man den gehobenen Hebel mit einem dünnen Faden; wenn der Faden durchgebrannt wird, fällt der Hebel plötzlich. Die Kurve (Fig. 1) zeigt die Eigenschwingungen der kleineren Kapsel; ihre Periode ist 0,025 Sek., also ihre Schwingungszahl 40 pro Sekunde. Für die gröfsere Kapsel wurde eine Periode von 0,099 Sek., also eine Schwingungszahl von 11 gefunden.

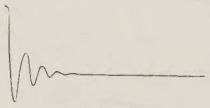


Fig 1.
Eigenschwingungen der kleineren Kapsel.

Der Grad der Dämpfung findet seinen Ausdruck in dem steilen Abfall der Amplituden; den Dämpfungskoeffizienten kann man nach den bekannten Methoden der Physik berechnen. Bei einer Elongation wie in Fig. 1 schwingt die kleine Kapsel in vier Perioden aus; selbst bei einer zweifach so grofsen Elongation schwingt die gröfsere Kapsel in einer Periode aus; sie ist aber sehr stark gedämpft.

Der Apparat kann erstens zum registrieren des Stimmtons dienen. Wenn man in den dicht am Munde gehaltenen Trichter einen Vokal hinein singt, bekommt man eine Wellenlinie, deren Wellen der Tonhöhe der Stimme entsprechen; je höher der Ton desto kürzer die Wellen.

Um die Tonhöhe des Vokals zu bestimmen, mifst man die Länge jeder Welle. Diese Messungen können mittels einer in Zehntelmillimeter eingeteilten Skala unter einer Lupe (am besten mittels einer ins Auge geklemmten starken Mineralogen- oder Uhrmacherlupe) ausgeführt werden; das Verfahren ist aber äufserst ermüdend. Besser ist es, ein Mefsokular mit tiefschwarzen Strichen in ein Mikroskop einzusetzen, und das Mikroskop auf einen Schlitten zu montieren.[1])

1) In meinen Researches in Experimental Phonetics (Carnegie Institution

Man liest die Skalenteile für die aufeinanderfolgenden Gipfel oder Täler ab, und gewinnt die Wellenlängen durch Subtraktion. Durch Multiplikation mit der Zeitgleichung bekommt man die Wellenlänge in Sekunden; die reziproken Werte geben die Schwingungszahlen pro Sekunde an. Die Serie der Schwingungszahlen kann man die »Melodie« des Vokals, des Satzes usw. nennen. Die auf Millimeterpapier eingetragenen Schwingungszahlen bestimmen die »Melodiekurve«.

Wichtig ist es, die Melodiekurven immer nach geeigneten vertikalen und horizontalen Skalen einzutragen. Hier habe ich in der Originalzeichnung für die **Y**-Achse 1 mm = 1 Schwingung und für die **X**-Achse 1 mm = 0,001 Sek. angenommen; bei der Reproduktion wird auf $^1/_{10}$ verkleinert; in den Figuren ist also für **Y** 1 mm = 10 Schwingungen und für **X** 1 mm = 0,010 Sek. Ich empfehle diese Verhältnisse der Einheiten zu allgemeiner Aufnahme; leider sind die früheren Untersuchungen nach ganz verschiedenen Skalen eingetragen, wodurch Vergleiche sehr erschwert sind.

Die Wellenform bei solchen Registrierungen kann für verschiedene Vokale gleich bleiben oder für denselben Vokal je nach der Tonhöhe ganz verschieden aussehen; solche Kurven sind niemals Vokalkurven. Das schwere Hebelsystem kann den langsameren Schwingungen des Kehlkopfs bei Männerstimmen nachfolgen, aber schon einer hohen Männerstimme oder einer weiblichen Stimme ist es nicht leicht, das Gewicht des Hebels und die Spannung der Membrane so anzupassen, dafs man deutliche Wellen bekommt. Den Schwingungen der hohen Vokaltöne kann der Hebel gar nicht nachfolgen. Es sollte nicht nötig sein, diesen Punkt zu betonen; aber es ist schon mehrmals vorgekommen, dafs Forscher, welche mit wirklichen Vokalkurven nicht gearbeitet haben, diese Luftdruckwellen für Vokalwellen gehalten haben.

1906) habe ich einen Apparat beschrieben, welcher speziell für Wellenmessungen konstruiert worden ist; das Mikroskop ist vertikal und horizontal verschiebbar; die Mikrometertrommeln sind in 0,01 mm (event. 0,001 mm) abzulesen. Einen ähnlichen Apparat bekommt man, indem man auf dem Kurvenmefstisch von Runne (Heidelberg) ein Mikroskop von der gewöhnlichen Gröfse montiert.

Wenn noch jemand glauben sollte, dafs seine auf diese Weise erhaltenen Kurven doch Vokalkurven seien, möge er zuerst eine Reihe verschiedener Vokale aufzeichnen und dann mit einem einzigen Vokal durch Änderung der Membranspannung, des Gewichts des Hebels, der Tonhöhe und der Stärke der Stimme versuchen, die Kurven aller anderen Vokalen nachzuahmen; dies wird ihm ohne grofse Mühe gelingen.

Der Apparat registriert zweitens die gröberen Luftdruckschwankungen. Wenn man hineinhaucht, steigt der Hebel; mit Verschwinden des Hauchstroms fällt er. Die Steilheit des Steigens hängt von der Schnelligkeit, mit welcher der Hauch einsetzt und von dessen Stärke; die Steilheit des Fallens, ebenso von der Schnelligkeit ab, mit welcher der Hauch nachläfst. Die Höhengrade sind dem Luftdruck nicht einfach proportional, da die Spannung der Membrane dem steigenden Luftdruck nicht gleichen Schritt hält; aber genauere Untersuchungen über dieses Verhältnis und eine Umzeichnung der Kurven sind für die vorliegenden Untersuchungen entbehrlich. Wenn man also in den Apparat hinein singt oder hinein spricht, werden nicht nur die Schwingungen vom Stimmton, sondern auch die gröberen Schwankungen des Luftdrucks registriert.

Zweierlei kann man gegen die Methode einwenden: 1. dafs die aufgezeichneten kleinen Schwingungen den Eigenton des Hebelsystems und nicht den Ton der Stimme darstellen; 2. dafs die gröberen Schwankungen vom Apparat verfälscht werden.

Der erste Einwand wird von fast jeder Person bei der ersten Bekanntschaft mit Hebelapparaten erhoben; man spricht ja damit einen der elementarsten Gedanken der Mechanik aus. Er wird aber nicht nur von Laien sondern auch von Leuten, die über hinreichende Kenntnisse in Physik zu verfügen glauben, fortwährend vorgebracht. Der Grund liegt darin, dafs die Gesetze der erzwungenen Schwingungen den nicht speziell physikalisch gebildeten Fachmann nicht genügend bekannt sind, und dafs der Einfluſs der Dämpfung selbst von Physikern oft übersehen wird.

Wenn das Hebelsystem ohne Dämpfung wäre, so könnte es entweder nur seine Eigenschwingungen ausführen oder gar keine.

Diese Schwingungen würden immer dieselbe Tonhöhe haben. Wenn der Stimmton mit dem Eigenton identisch ist, würde der Hebel mitschwingen, aber sonst nicht. Ein gedämpftes System hingegen kann auf ein ganzes Bereich von Tonhöhen mitschwingen, und zwar mit den Tonhöhen der einwirkenden Schwingungen. Dafs hier der zweite Fall, ein gedämpftes System, vorliegt, beweisen die ganz verschiedenen Tonhöhen, welche registriert werden können. Auch wenn man die Tonreihe aufwärts oder abwärts singt, registriert ein passender Hebel ganz genau die verschiedenen Tonhöhen innerhalb eines bestimmten Bereiches, aufserhalb welchem er nicht anspricht.

Der zweite Einwand hat eine gewisse Berechtigung. Bei plötzlichen Luftstöfsen werden Eigenschwingungen von der in Fig. 1 gezeigten Art zu erwarten sein; bei langsamen Druckänderungen aber werden sie nicht auftreten. Beim Studium der explosiven Laute wird man diesen Punkt immer in Betracht zu ziehen haben; hier bei den Vokalen sind die Kurven unmittelbar als Luftdruckkurven anzusehen.

Die nach dieser Methode gewonnenen Kurven geben Aufschlufs über eine Reihe von Problemen, welche nicht nur für die Phonetik sondern gerade für die Physiologie und Pathologie des Sprechens wichtig sind. Aus einer Sammlung solcher Kurven mögen hier einige besprochen werden. Die hier zum Versuch verwendeten Personen sind G., Sch., Sm. (alle aus Oberbayern), L. (Hannover), K. (Maryland, U. S. A.), S. (New York).

Der grobe Luftdruck in Fig. 2 (gesungener deutscher Vokal) steigt von Null langsam und regelmäfsig bis zu einem Maximum an. Dann schwankt er auf und ab, wobei er im allgemeinen sich allmählich senkt. Am Ende fällt er plötzlich. Dieses typische Verhalten zeigt in den anderen Fällen viele Variationen.

Betrachten wir zuerst den Verlauf des Luftdrucks, abgesehen vom Anfang und Ende. In Fig. 2 sind die Schwankungen beträchtlich; es ist also eine Intensitäts-Unregelmäfsigkeit vorhanden, obwohl dies dem Ohr entgeht. Wenn solche Schwankungen genügend ausgeprägt und hörbar sind, werden sie in der Musik »Tremolieren« genannt. Wir dürfen diesen Ausdruck

übertragen und auch auf die nicht ohne weiteres hörbaren Schwankungen anwenden.

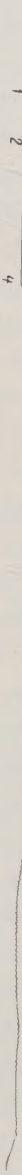


Fig. 2. [o] gesungen, deutsch (G.).

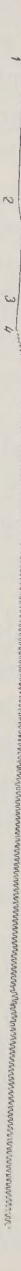


Fig. 3. [o] gesungen, deutsch (L.).

Fig. 4. [o] gesungen, deutsch (Sch.).

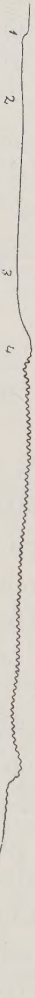


Fig. 5. [e] gesungen, deutsch (Sch.).

Fig. 6. [i] gesungen, deutsch (Sm.).

Ein Vergleich mit den anderen Kurven zeigt, dafs dieses »physiologische Tremolieren« überall vorkommt. Es rührt mit grofser Wahrscheinlichkeit von Innervations-Schwankungen der Atemmuskeln her und ist ein Ausdruck der Respirationskontrolle. Bei Sch. (Fig. 4, 5) und Sm. (Fig. 6) ist die Kontrolle bedeutend besser. Bei L. (Fig. 3) ist der Druck auch sehr genau reguliert; es kommen aber plötzlich einige kurze Schwankungen; dieses Verhalten ist bei L. konstant.

Der grobe Luftdruck der gesprochenen Vokale (Fig. 7—10) zeigt in allen Fällen ungefähr dieselben Verhältnisse wie der-

Fig. 7. [o] gesprochen, deutsch (G.).

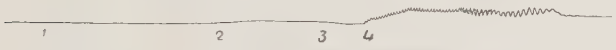


Fig. 8. [u] gesprochen, deutsch (L.).

Fig. 9. [a] gesprochen, deutsch (Sch.).

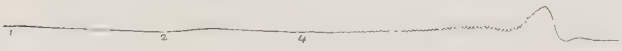


Fig. 10. [o] gesprochen, deutsch (Sm.).

jenige der gesungenen Vokale. Die ziemlich grofsen, langsamen Schwankungen bei G., das kurze Tremolieren bei L. und die genaue Kontrolle bei Schm. und Sm. zeigen sich hier auch, aber natürlich in kürzerer Zeit.

Bei den gesungenen Vokalen erreicht der Luftdruck sein Maximum kurz nach dem Anfang; nachher bleibt er konstant (L., Sch.) oder sinkt allmählich (G., Sm.). Bei den gesprochenen Vokalen ist der Luftdruck im allgemeinen ein steigender. Dies tritt besonders deutlich in der Kurve von Sm. (Fig. 10). Öfter aber kommt es vor, dafs der Druck sich nach dem Anfang senkt, um dann gegen Schlufs stark zu steigen (G., Sch.).

Jetzt wenden wir uns zum Verlauf des Stimmtons bei diesen Vokalen.

Die Melodiekurve (Fig. 11) von (o) in Fig. 2 zeigt, dafs die Stimme im ersten Teil auf etwa 130 Schwingungen pro Sekunde sich eingestellt hat, aber allmählich etwas in die Höhe stieg. Fortwährend aber hat sie kleine Schwankungen gemacht; die Einstellung war also nicht genau innegehalten. Dieses Schwanken in der Tonhöhe wollen wir als »Trillern« bezeichnen, wobei wir — ähnlich wie bei »Tremolieren« — den musikalischen Begriff etwas erweitern. Eine gewisse Beziehung zwischen Tremolieren und Trillern ist in diesem Fall zu erkennen; im ersten Drittel des Vokals sind Luftdruck- und Kehlkopf-Einstellungen etwas genauer reguliert als später.[1])

Das physiologische Trillern ist selbst bei Sängern — wie schon Hensen[2]) und Klünder[3]) gezeigt haben — immer vorhanden; ich habe es in allen meinen Aufnahmen gefunden.[4])

Bei L. (Fig. 12) ist die Kontrolle der Stimmhöhe von ungefähr derselben Genauigkeit wie bei G.; ein Zusammenhang zwischen Tremolieren und Trillern läfst sich nicht konstatieren. Bei Sch. (Fig. 13) zeigt sich eine merkwürdig konstante Tonhöhe. Diese und die fast konstanten Luftdruckkurven deuten auf eine sehr genaue Kontrolle seiner Vokaleinstellungen hin.

Bei dem gesprochenen [o] von G. (Fig. 14) ist die Melodie eine zunächst steigende und dann fallende, aber der Ton endet ungefähr, wo er begonnen hat. Die Melodie können wir als eine »konvexe horizontale« bezeichnen. Bei L. (Fig. 15) setzt der Ton hoch ein, um nach kurzem zu fallen; der Verlauf hat eine gewisse Konvexität. Die Melodie wäre also als »konvex fallend« zu bezeichnen. Bei Sch. (Fig. 16) ist die Tonhöhe merk-

1) Über die abgeschriebenen Kurven von einem Fall, wo das musikalische Trillern einer bekannten italienischen Sängerin tatsächlich ein Tremolieren eines hohen Tones war, habe ich in meinen Researches in Experimental Phonetics (Carnegie Institution 1906) berichtet. Es mag oft vorkommen, dafs hohes Trillern durch das leichtere Tremolieren ersetzt wird; das Ohr kann aber den Unterschied nicht empfinden.

2) Arch. Anat. Physiol. (Physiol. Abt.) 1879, S. 155.

3) Arch. Anat. Physiol. (Physiol. Abt.) 1879, S. 119.

4) Elements of Exper. Phonetics, Plates XII, XIII; Philosoph. Studien 1902, XIX, S. 599; Neuere Sprachen 1902/03, X, S. 514; Researches in Exp. Phonetics (Carnegie 1906), Ch. IV.

würdig konstant; wir dürfen die Melodie als »geradlinig-horizontal« bezeichnen. Bei Sm. (Fig. 17) ist die Melodie im allgemeinen

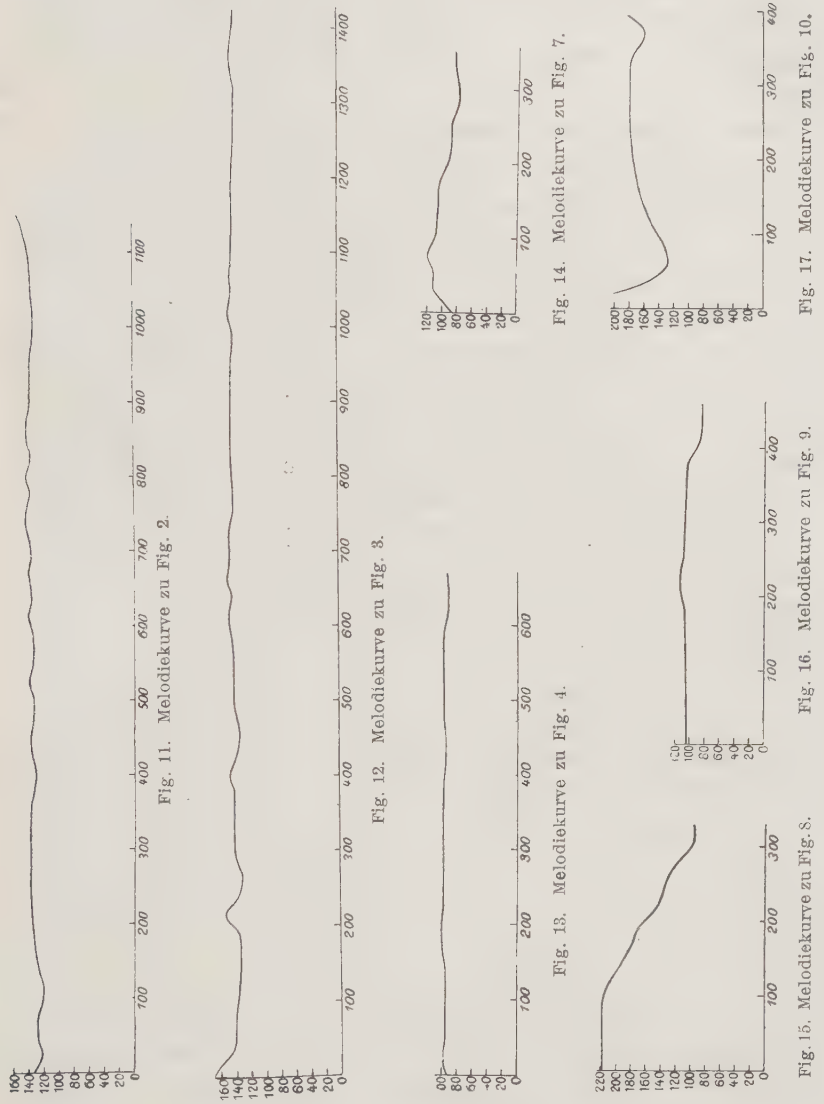


Fig. 11. Melodiekurve zu Fig. 2.

Fig. 12. Melodiekurve zu Fig. 3.

Fig. 13. Melodiekurve zu Fig. 4.

Fig. 14. Melodiekurve zu Fig. 7.

Fig. 15. Melodiekurve zu Fig. 8.

Fig. 16. Melodiekurve zu Fig. 9.

Fig. 17. Melodiekurve zu Fig. 10.

horizontal; die Wendungen am Anfang und am Schlufs werden uns weiter unten beschäftigen. Da die Personen aufgefordert wurden, einzelne Vokale hineinzusprechen, dürfen wir den Schlufs

ziehen, dafs die Melodie in einem solchen Fall schwach konvex oder geradlinig horizontal oder steigend sein kann. Dies ist wohl der Grundtypus für die Melodie des alleinstehenden Vokals im Deutschen. Andere Melodieformen kommen als Ausdrucksbewegungen vor; für das Deutsche sind sie noch nicht untersucht.[1])

Die Amplitude der Schwingungen, welche als Ausdruck der Tonstärke angesehen werden kann, erreicht sein Maximum in den gesungenen Vokalen (Fig. 2—6) kurz nach dem Anfang. Bei L. und Sch. bleibt sie im weiteren Verlauf ziemlich konstant, bei G. und Sm. fällt sie fortschreitend ab.

Die Amplitude bei den gesprochenen Vokalen verhält sich nicht ganz wie der Luftdruck. Sie steigt vom Anfang fast bis zum Schlufs; die Intensität des Tones ist also im fortwährenden Steigen begriffen. Dies bildet einen Gegensatz zu den gesungenen Vokalen, wo die gröfste Intensität sich nahe am Anfang befindet.

Bei den amerikanischen Vokalen von S. (Fig. 18—21) findet man in bezug auf groben Luftdruck und Amplitude ungefähr dieselben Verhältnisse wie bei den deutschen. Bei den gesprochenen Vokalen aber sind meistens zwei Maxima der Amplitude vorhanden; das eine liegt am Anfang, das andere gegen Ende. Der Vokal ist gewissermafsen als ein Intensitätsdiphthong zu betrachten. Dafs viele amerikanische Vokale regelmäfsig als Intensitätsdiphthonge erscheinen, habe ich an Sprachkurven früher schon bewiesen. Es wird allgemein angenommen, dafs die englischen Vokale qualitativ in ihrem Verlauf sich ändern; wie ich bewiesen habe, gilt dies auch für viele amerikanische Vokale; das Vorhandensein einer regelmäfsigen Diphthongbildung nach Intensität ist aber unbeachtet geblieben.

Beim gesungenen Vokal (Fig. 24) finden wir das Trillern angedeutet. Bei den gesprochenen Vokalen (Fig. 25—27) ist die Melodie konvex-fallend; dies ist ein typisches Verhalten für die einzelnen Vokale. Auf die Eigentümlichkeit in Fig. 27 kommen wir alsbald zurück.

1) Über die Melodieformen bei Traurigkeit, Überraschung usw. im Englischen siehe meine Researches usw. (Carnegie 1906).

Die Einsätze der Vokale sind von den Phonetikern auf das peinlichste beobachtet und beschrieben worden. Gewisse Formen werden als typisch aufgestellt und gelehrt; im Deutschen z. B. soll der anlautende Vokal regelmäfsig mit einem Kehlkopfexplosivlaut anfangen. Die Beobachtungen wurden aber alle nur mit dem bloſsen Ohr gemacht.

Um die Anfangsweise der Vokale zu studieren, betrachten wir zunächst die Kurve von L. (Fig. 3). An dem mit 1 bezeichneten Punkt wird durch Senkung der Linie eine kurze Luftdruckverminderung angedeutet; diese hört bei 2 auf; der Hebel kommt sofort zur Ruhe und bleibt in diesem Zustand bis 3, wo eine nochmalige kurze Druckverminderung stattfindet. Ich erkläre mir diese Eigentümlichkeiten folgendermaſsen: Die Inspiration für den Vokal hatte schon vorher stattgefunden; die geringe kurze Druckverminderung bei 1 wurde durch irgendeine Einstellbewegung hervorgerufen, vielleicht durch eine plötzliche Zuckung in den Atemmuskeln oder irgendwelche Muskelbewegung im Schlund- oder Kehlkopf. Von 2 bis 3 haben wir den Kehlkopfverschluſs. Bei 3 findet eine Änderung dieses Verschlusses statt; bei 4 fangen die Stimmschwingungen an. Der gesprochene Vokal von L. (Fig. 8) fängt nach derselben Weise an.

In der Kurve von G.'s gesungenem [o] (Fig. 2) sind inspiratorische Einstellung (bei 1) und Verschluſs (bei 2) nur schwach angedeutet; etwas deutlicher kommen sie bei dem gesprochenen [o] (Fig. 7) zum Vorschein. Der Verschluſs endet plötzlich mit den Schwingungen des Stimmtons (bei 4) ohne eine Senkung oder eine Steigerung des Druckes.

Die Kurven der von Sch.'s gesungenen Vokalen zeigen ein abweichendes Verhalten. In der Registrierung für [o] (Fig. 4) sieht man die kurze inspiratorische Zuckung (oder Einstellungsstörung) bei 1. Es ist aber nachher (von 2—4) kein vollständiger Verschluſs vorhanden, sondern die Luft entweicht allmählich und die Linie steigt; endlich fangen die Schwingungen an, und die Kurve senkt sich auf einen Augenblick. Der Einsatz ist also kein Kehlkopfverschluſslaut sondern ein Kehlkopfreibelaut. In der Registrierung für [e] (Fig. 5) sieht man nach der kurzen

vorbereitenden Senkung (1 bis 2) den Verschluſs (2 bis 3) deutlich; aber das Steigen der Linie nachher (3 bis 4) beweist, daſs dieser Verschluſs mit einem Reibelaut endet. Das Steigen von 3 bis 4 ist so langsam, daſs der Laut nicht als einen Explosivlaut bezeichnet werden kann. In dem gesprochenen [a] (Fig. 9) ist nur ein Kehlkopfverschluſslaut vorhanden.

Bei Sm. (Fig. 6 und 10) finden wir auch nur Kehlkopfverschluſslaute.

Dieselben Verhältnisse finden sich in zahlreichen anderen Kurven von denselben Personen und von anderen Deutschen wieder. Wir müssen also den Kehlkopfverschluſslaut als den typischen Einsatz der deutschen Vokale ansehen; die Abweichungen kommen nur unter besonderen Verhältnissen vor, wie bei gesungenen Vokalen. Aber selbst hier habe ich niemals einen wirklichen Kehlkopfexplosivlaut beobachtet.

Wenn wir die Zeit von 1 bis 2 als »Einstellzeit« und von 2 bis 4 als »Verschluſszeit« betrachten, so haben wir folgende Werte: für die gesungenen Vokale (Fig. 2—6) 0,07, 0,20, 0,12, 0,10, 0,30; im Mittel 0,16 Sek. als Einstellzeit; 0,23, 0,22, 0,16, 0,41, 0,18, im Mittel 0,24 Sek. als Verschluſszeit; für die gesprochenen Vokale (Fig. 7—10) 0,12, 0,28, 0,11, 0,25, im Mittel 0,19 Sek. als Einstellzeit; 0,24, 0,23, 0,22, 0,24, im Mittel 0,23 Sek. als Verschluſszeit.

Bei dem Anfang mit Kehlkopfverschluſslaut werden die Stimmlippen fest aneinandergepreſst und in eine bestimmte Spannung gesetzt; der Luftdruck im Thorax steigt; in dem geeigneten Augenblick setzt die Luft die Stimmlippen in Schwingungen. Diese verschiedenen Bewegungen passen sich einander genau an; es findet keine geräuschvolle Entweichung der Luft statt; der Stimmton fängt mit der bestimmten Tonhöhe an (vgl. die Melodiekurven). Diese Anfangsweise kann man als den »festen Einsatz« bezeichnen. Bei dem Anfang mit Kehlkopfreibelaut ist der Verschluſs der Stimmlippen nicht vollständig; es entsteht ein »rauher Einsatz«.

Eine Abweichung vom Typus finden wir in dem gesprochenen [o] von Sm. (Fig. 10); die Stimme setzt zu hoch ein (Fig. 17) und

fällt mit den ersten Schwingungen ab; die Stimmlippen sind also im ersten Augenblick über das Mittelmafs gespannt; der Einsatz ist als »übermäfsig fest« zu bezeichnen. Einen vielleicht ähnlichen Fall habe ich einmal laryngoskopisch in München beobachtet, aber nicht weiter untersucht; beim Singen eines [a] wurden die Stimmlippen im ersten Augenblick so übermäfsig fest aneinandergepreſst, dafs zwei Wülste am Rand der Stimmritze deutlich erschienen.

Es kann sein, dafs verschiedene Vokaleinsätze in den verschiedenen deutschen Dialekten vorkommen. Meine Beobachtungen über etwa 20 Personen haben mich aber überzeugt, dafs die anlautenden deutschen Vokale regelmäfsig mit dem Kehlkopfverschlufslaut und nicht — wie von fast allen Phonetikern angenommen — mit einem Kehlkopfexplosivlaut anfangen.

Wenn nach dem Verschlufs die Stimmlippen momentan etwas voneinander abweichen — wie bei einem Kehlkopfexplosivlaut —, werden wir leicht an eine minder gute Kontrolle der Sprechbewegungen denken. Aber gerade die Präzision der Bewegungen und die Genauigkeit der Koordination sind die wichtigen Merkmale des festen Einsatzes.

Die Sache ist weder medizinisch noch philologisch gleichgültig. Eine Störung in Präzision und Koordination bei einem Individuum deutet auf etwas Abweichendes hin; geringere Störungen habe ich bei Aufnahmen von Greisen, gröfsere in pathologischen Fällen beobachtet. Aber besonders für die Philologie möchte ich betonen, dafs die Entwickelung einer Sprache gerade von solchen physiologischen und psychologischen Momenten abhängt; der Philologe, der den Grund zu Lautentwickelungen in den Verhältnissen der Bewegungskontrolle und ähnlichen Tatsachen sucht, wird sich kaum mit Hypothesen über die Mundverengung wegen der Kälte der Gebirgsluft und ähnlichen unter Philologen verbreiteten Annahmen aufhalten lassen.

Bei den amerikanischen Vokalen (Fig. 18—21) ist die inspiratorische Einstellung (1—2) mit einer kleinen Welle (bei 2) beendet, nach welcher der Luftdruck allmählich steigt. Plötzlich setzen die Vokalschwingungen (bei 4) ein. Die nach der inspiratorischen Einstellung auftretende kleine, abklingende Welle

erinnert an die Welle nach dem plötzlichen Loslassen des Hebels (Fig. 1). In der Tat müssen wir annehmen, dafs die inspiratorische Einstellung durch einen plötzlichen Verschlufs (bzw. Ver-

Fig. 18. [o] gesungen, amerikanisch (S.).

Fig. 19. [o] gesprochen, amerikanisch (S.).

Fig. 20. [o] gesprochen, amerikanisch (S.).

Fig. 21. [o] gesprochen, amerikanisch (S.).

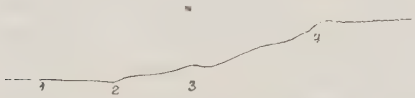


Fig. 22. Anfang eines [o] gesprochen, amerikanisch, mit empfindlicher Druckregistrierung (S.).

Fig. 23. [o] gesprochen, amerikanisch, mit zweifacher Druckregistrierung (S.).

engerung) der Stimmritze beendet wird; der Vorgang ist plötzlicher als bei den deutschen Vokalen, wo die steigende Linie keine solche Welle zeigt. Der Verschlufs ist nicht vollständig, da die Drucklinie langsam steigt; es strömt also eine geringe Menge Luft heraus, welche einem Hauchlaut entspricht.

Der Hauchlaut (Fig. 18) zeigt ein paar schwache Schwingungen am Ende (von 3—4), ist also hier schwach stimmhaft. Trotz dieser Anbahnung — einem »Gleitlaut« — zum nach-

folgenden stimmhaften Laut fangen die eigentlichen Vokalschwingungen auf einmal stark an. In diesem Fall fängt der Vokal also mit einem kurzen im allgemeinen stimmlosen Hauchlaut an. In Fig. 19 ist der Hauchlaut vollständig stimmlos; in Fig. 20 steigert er sich plötzlich (3—4); in Fig. 21 ist er während seiner ganzen Dauer stimmhaft (Fig. 27). Fig. 22 ist mit einer auf den groben Luftdruck sehr empfindlichen Kapsel gewonnen; die inspiratorische Einstellung erstreckt sich von 1—2, der stimmlose Hauch von 2—3 und der stimmhafte Hauch von 3—4; der eigentliche Vokal fängt bei 4 an. Jede neue Phase fängt mit einer speziellen Änderung des groben Luftdrucks an, welche einer neuen Einstellung im Kehlkopf entspricht.

Der Mechanismus des Einsatzes ist etwa folgendermafsen zu denken: Die Stimmlippen werden genähert aber die Knorpelglottis bleibt etwas offen; es strömt also eine kleine Menge Luft heraus. Inzwischen werden die Mm. vokales gespannt. Die Knorpelglottis ist dann für den eigentlichen Vokal geschlossen; die Luft mufs nun zwischen den Stimmlippen hindurch; diese fangen also plötzlich an zu schwingen, und zwar mit der vollen Durchschnittsschwingungszahl. Wenn die Knorpelglottis in anderen Fällen etwas mehr verengt ist, wobei Luft zwischen den Stimmlippen entweichen mufs, wird der Hauchlaut etwas stimmhaft, wie beim stimmhaften [h].

Die Länge dieses »gehauchten« Einsatzes ist ziemlich konstant. Wie folgende Tabelle zeigt, beträgt er ungefähr $^1/_8$ Sek. und ist nicht von der Vokallänge wesentlich abhängig.

Länge des Einsatzes	Länge des Vokals	
0,12 Sek.	0,51 Sek.	[o] gesprochen
0,10 »	0,53 »	» »
0,09 »	0,56 »	» »
0,16 »	0,56 »	» »
0,19 »	0,67 »	» »
0,11 »	1,00 »	[o] gesungen
0,14 »	1,03 »	» »
0,14 »	1,17 »	» »

Eine andere Art Einsatz findet sich bei Vokalen von K. (Fig. 28, 29, 30); der Vokal fängt nämlich ohne vorhergehenden Hauch stark und hoch zu tönen an. Es ist keine inspiratorische Einstellung vorhanden, auch keine Spur eines Hauchlauts; die Schwingungen fangen plötzlich in fast voller Stärke und Höhe auf der Nulllinie an. Die Stimmritze mufs in einem solchen Fall vor Anfang des Expirationsdrucks vollständig und fest verschlossen sein; die Stimmlippen werden gespannt und der Expirationsdruck fängt an. In einem bestimmten Augenblick nun sind Druck und Spannung zum Tönen richtig angepafst, und der Laut beginnt. Physiologisch ist der Unterschied von dem gehauchten Einsatz eigentlich gering; hier ist die Knorpelglottis fest geschlossen, beim gehauchten Einsatz ist der Verschlufs nicht vollständig.

Beide Arten des amerikanischen Einsatzes sind meiner Meinung nach mit dem oben beschriebenen deutschen Einsatz unter den Begriff des »festen Einsatzes« zu bringen. Das Wesentliche ist hierbei, dafs die Vokalschwingungen stark und hoch einsetzen. Bei dem deutschen Einsatz fängt der Expirationsdruck etwas früher als der Glottisverschlufs an; bei der zweiten Form des amerikanischen Einsatzes (K.) hingegen ist die Glottis zuerst fest verschlossen. Ein mangelhafter Verschlufs der Knorpelglottis kann einen leisen Hauchlaut während der Verschlufszeit hervorbringen, wie bei der ersten Form (S.) des amerikanischen Einsatzes.

Es soll auch eine Art Einsatz vorkommen, wobei Expiration, Schliefsung und Spannung ungefähr gleichzeitig anfangen und fortschreiten. Einen ganz idealen »graduellen« Einsatz (Ellis), wo alle drei gleichen Schritt halten, habe ich in meinen Kurven nicht finden können. Etwas derartiges ist in Fig. 23 zu sehen; die untere Kurve ist mittels einer auf groben Luftdruck empfindlichen Kapsel, die andere mittels einer für die Stimmschwingungen besser geeigneten aufgenommen. Nach den inspiratorischen Einstellungen von 1—4 fangen Expiration und Schwingungen gleichzeitig an und steigen gleichmäfsig. Der Ton fängt aber ziemlich hoch an; die Stimmlippen sind also schon bis zu einem gewissen Grad gespannt. Wenn die von den Phonetikern festge-

haltene Ansicht — dafs die englischen Vokale mit dem »graduellen« Einsatz anfangen — sich als richtig erweisen soll, dann wäre ein Unterschied von den amerikanischen Vokalen zu konstatieren; es liegen aber über das Englische nur Beobachtungen mittels des Ohres vor, welches total unfähig ist, solche Tatsachen festzustellen.

Die Schlufsweisen des Vokals können offenbar von ganz verschiedener Art sein. Mit oder ohne Änderung des Interthorakal-

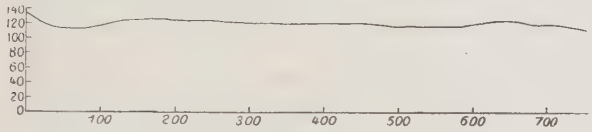


Fig. 24. Melodiekurve zu Fig. 18.

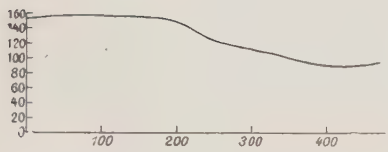


Fig. 25. Melodiekurve zu Fig. 19.

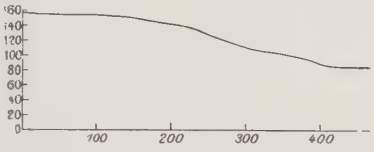


Fig. 26. Melodiekurve zu Fig. 20.

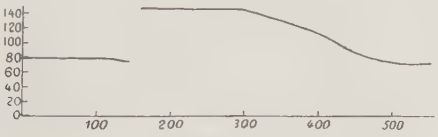


Fig. 27. Melodiekurve zu Fig. 21.

drucks können die Stimmlippen voneinander abweichen. Es entsteht ein offener Spalt, durch welchen die Luft herausströmt. Ein solcher Absatz wird als »gehaucht« bezeichnet. Dafs die Knorpelglottis sich zuerst öffnet, ist eine Möglichkeit, welche weiterer Untersuchung bedarf.

Die für die Unterhaltung der Schwingungen verwendbare Energie wird hierbei vermindert, und die Amplitude wird kleiner; der Ton ist also »ausklingend«. Die Spannung der Stimmlippen kann unverändert bleiben oder sich vermindern event. vergröfsern; der Stimmton ist also »gehalten«, »abklingend« oder »aufklingend«. Dies sind die typischen Absätze im Deutschen. Betrachten wir

zuerst das gesprochene [o] von Sm. (Fig. 10, 17). Am Ende des Vokals steigt und fällt der grobe Luftdruck ziemlich plötzlich; die Amplitüde vermindert sich stetig, sowohl während des steigenden als während des fallenden Teils; die Schwingungen erhalten sich während der ganzen Schlufszeit. Der Vorgang ist ähnlich in dem gesungenen [i] von Sm. (Fig. 6). Der Schlufs der Vokale fand offenbar statt durch plötzliche Öffnung der Stimmritze; es entstand ein Luftstofs, und die Schwingungsamplitüde verkleinert sich allmählich. Die Tonhöhe schwankte ein wenig, aber blieb im Ganzen konstant (Fig. 17). Der Absatz war also »gehaucht, ausklingend und gehalten«.

In den anderen Kurven der deutschen Vokale finden wir ähnliche Verhältnisse. Der Hauch ist nicht immer so stark wie bei Sm.; bei L. Fig. 8 ist er nur angedeutet. Bei G. Fig. 2 ist der Hauchstofs eigentlich nicht vorhanden; Luftdruck und Schwingungen verschwinden gleichzeitig ohne Steigerung; er hatte wohl zu wenig Luft am Ende des langen Vokals übrig, um den üblichen Absatz (Fig. 7) zu bilden.

Der Absatz, den wir hier nur als einen Zufall bei G. (Fig. 2) beobachten, soll in einigen Sprachen regelmäfsig vorkommen. Gelegentlich ist der Hauchstofs nicht so plötzlich, sondern zieht sich länger aus. Dieser lang gehauchte Absatz (entsprechend dem sanskritischen Visarga) kommt im Deutschen nicht selten vor.

Bei jeder Varietät aber bestehen die Stimmschwingungen während des ganzen Hauchstofses oder während des gröfsten Teils; der Absatz im Deutschen ist also »tönend gehaucht«.

Aus der Form der Wellen bei dieser Registriermethode ist höchstens ein Schlufs darüber erlaubt, ob die Schwingungen mehr sinusartig oder stofsartig sind. In einem einzelnen Fall möchte ich mir auch diesen Schlufs nicht erlauben, aber, wie E. Meyer[1]) schon bemerkt hat, findet man oft, dafs im Absatz die verwickelte Welle des Vokals sinusartig wird; wir können vielleicht annehmen, dafs im Absatz die Stimmlippen durch Auseinanderweichen oft glatte Luftwellen statt der vorhergehenden Luftstöfse hervorbringen.

1) Meyer, Stimmhaftes H. Neuere Sprachen 1900, Bd. 8 S. 261.

Die Schlufsweise des amerikanischen Vokals in Fig. 18 zeigt den Hauchstofs am Ende, aber die Schwingungen klingen früher aus als bei den deutschen Vokalen; die Tonhöhe (Fig. 24) ist kaum merklich gesunken. Diesen Fall kann man mit den schon besprochenen deutschen Absätzen zusammenfassen; die folgenden aber sind von einer anderen Art. In Fig. 19 und 21 klingen die Schwingungen nach dem zweiten Amplitüdenmaximum ziemlich schnell ab; die Tonhöhe wird festgehalten; ein Hauchstofs ist nicht vorhanden. In Fig. 20 ist dasselbe zu sehen; es kommt aber ein Luftstofs eine Fünftelsekunde nach Schlufs des Vokals.

Der Absatz in diesen Fällen entspricht offenbar dem in der Phonetik bekannten »festen« Absatz. Die noch kräftig tönende Stimme wird plötzlich zum Aufhören gebracht; es kann eventuell eine kleine Explosion kurz nachher folgen. Der Vokal endet also mit einem Kehlkopfverschlufslaut ohne oder mit Explosion.

Bei dem zweifach registrierten [o], Fig. 23, ist der plötzliche Endverschlufs in der unteren, den groben Luftdruck speziell registrierenden Linie besonders deutlich.

»Wir gebrauchen diesen Absatz z. B., wo wir zwei benachbarte, namentlich gleiche Vokale scharf voneinander trennen wollen, ferner in solchen, in ärgerlichem Affekt gesprochenen Wörtchen, wie da'! no'!, oft auch in dem zweifelnden ja'!, no'!« [1]) Als Mechanismus dieses Absatzes könnte man an eine plötzlich gesteigerte Spannung der Stimmlippen denken; das Fehlen einer Steigerung der Tonhöhe Fig. 25, 26, 27 zeigt, dafs dies nicht der Fall sein kann. Am leichtesten wäre der Absatz durch plötzlichen Verschlufs der Stimmritze — also Zusammendrücken der Stimmlippen — zu erklären. Der Mechanismus dazu fehlt aber; durch feste Zusammenlegung der Processus vocales der Aryknorpel kann man nur die Enden der Stimmlippen zusammenbringen; wie die Mm. thyreo-arytenoidei externi dazu beitragen sollen, ist nicht leicht einzusehen.

Die Vokale von K. (Fig. 28, 29, 30) zeigen ein anderes Verhalten. Der grobe Luftdruck und die Amplitüde verringern sich allmählich; auch die Tonhöhe sinkt etwas. Bei diesem

1) Sievers, Grundzüge der Phonetik, 5. Aufl., S. 154. Leipzig 1901.

»graduellen« Absatz hört der Hauch allmählich auf, wobei der Ton ausklingt.

Von K. (Amerikaner) wurden oft Kurven von der in Fig. 28 gezeigten Art registriert. Die ersten drei Schwingungen des Vokals sind regelmäfsig, darnach bekommt jede zweite Schwingung eine Verstärkung; es mufs also irgendein periodischer

Fig. 28. [o] gesprochen (K.).

Fig. 29 [o] gesprochen (K.).

Fig. 30. [o] gesprochen (K.).

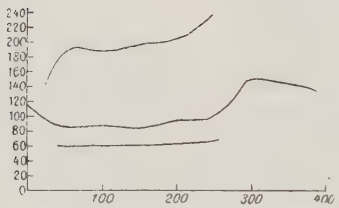


Fig. 31. Melodiekurve zu Fig. 28.

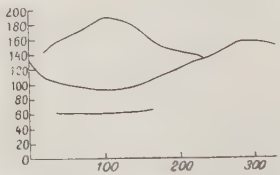


Fig. 32. Melodiekurve zu Fig. 29.

Fig. 33. »Kirby« gesprochen (K.).

Vorgang mit der halben Schwingungszahl hier mitspielen. In der Tat, nachdem man darauf aufmerksam gemacht wird, hört man gewöhnlich bei K. nicht nur den eigentlichen Stimmton, sondern auch einen viel tieferen, etwas knarrenden Ton. In den Kurven von K. finden sich nicht selten auch Vokale, welche nichts von diesen langsamen Schwingungen zeigen; aber viel öfter erscheinen sie an irgendeiner Stelle — besonders am Anfang — des Vokals.

Für das Ohr müssen Schwingungen von der in Fig. 28, 29 registrierten Art drei Töne erzeugen: einen niedrigen mit der Schwingungszahl des Knarrens und zwei höhere mit den Schwingungszahlen der ungleichen Teile (Fig. 31, 32). Während das Knarren in Fig. 29 sich dem Ende nähert, werden die zwei Teile immer mehr ähnlich und nach Aufhören des Knarrens ganz gleich; die Töne nähern sich also und vereinigen sich schliefslich zu einem Stimmenton.

Fig. 34. »Tell me not« mit Strohbafsvokal (S.).

Fig. 35. Kehlkopf »r« (S.).

Fig. 36. Amerikanischer Hauchlaut und Vokal (S.).

Fig. 37. Deutscher Hauchlaut und Vokal (A.).

Einen sehr interessanten Fall bietet die Kurve des Wortes »Kirby« in Fig. 33. Die Abbildung fängt mitten in der geraden Linie für den Verschlufs des [k] an; darnach folgt die etwas langsame Explosion, welche merkwürdigerweise hier stimmhaft ist. Hierauf folgen die Schwingungen für [ə], welche keine Spur eines Rollens oder Knarrens zeigen, obwohl man ein solches Rollen als Spur des verschwundenen [r] erwarten dürfte. Während des Verschlusses des [b] sind schwache Schwingungen vorhanden; die Explosion bei [b] ist plötzlicher wie bei [k]. Für den Vokal [ɪ] am Ende des Wortes sind blofse unregelmäfsige Schlotterbewegungen fast während der ganzen Dauer vorhanden; nur am Schlufs ist ein eigentlicher Stimmton vorhanden.

Das Knarren und das Schlottern sind nicht mit der »Strohbafs«-Stimme identisch. Bei K. hört man deutlich wenigstens zwei Töne: einen stärkeren, höheren Stimmton und einen leiseren tiefen

rauhen Begleitton. Beim Strohbafs ist ein einziger tiefer rauher Ton vorhanden. Solche Strohbafsvokale kommen in meiner eigenen Sprache gelegentlich unwillkürlich — und meistens unbemerkt — vor. Die Kurve in Fig. 34 ist die Registrierung von »Tell me not« aus einem Gedicht. Die gerade Linie am Anfang entspricht dem Verschlufs des [t]; darnach folgt die Explosion des [t] mit einigen Vokalschwingungen auf der Linie des fallenden Hebels. Der Vokal zeigt regelmäfsige tiefe Schwingungen, so tief, wie ich sie nur mittels Strohbafs hervorbringen kann. Nachher folgen die kurzen kleinen Schwingungen von [l], die noch schwächeren von [m], die Explosion von [m], die Schwingungen von [i] und die sehr schwachen Schwingungen von [n], welches mit einer starken Explosion endet; nachher kommen die Schwingungen von [ə], welche mit dem Verschlufslaut [t] enden[1]).

Zu bemerken ist, dafs der eigentliche Stimmton des Vokals nicht der Strohbafston war. Wie andere Aufnahmen zeigen, ist die Tonhöhe des Vokals in »Tell« gewöhnlich nicht sehr verschieden von derjenigen in »me«. In den Fällen von der in Fig. 34 gezeigten Art kommt der intendierte Ton wegen einer Störung des Schwingungsmechanismus im Kehlkopf nicht zustande.

Solche Knarrvokale und Strohbafsvokale habe ich mehr oder minder ausgeprägt bei jedem der drei an dieser Untersuchung beteiligten Amerikaner gefunden; unter den 21 untersuchten Deutschen war kein Fall vorhanden.

Aus ihrer Regelmäfsigkeit erkennt man, dafs die Knarrstimme und die Strohbafsstimme nicht von unregelmäfsigen Schlotter-

1) Es könnte vielleicht auffallen, dafs [m] und [n] hier als Explosivlaute erscheinen; das kommt aber oft vor. »Explosivlaut« ist nicht mit »Verschlufslaut« identisch; es können ebensowohl Reibelaute, Nasallaute, ja sogar Vokale mit Explosion wie Verschlufslaute ohne Explosion schliefsen; es kommt alles auf das Verhältnis zwischen Mundhemmung und Thorakaldruck an. Die Explosion des [n] ist hier fast so stark wie die des [t]. Jemand, der nicht mit Sprachregistrierungen gearbeitet hat, wird kaum begreifen können, wie ungenügend oder falsch unsere aus der von der Typographie beherrschten Phonetik herrührenden Anschauungen über die Sprachlaute sind.

bewegungen herrühren; der Schwingungsmechanismus mufs in einer ganz bestimmten Weise eingestellt sein. Vorläufig lassen sich über den Mechanismus nur Vermutungen aussprechen. Vielleicht sind die Aryknorpel so eingestellt, dafs sie mitsamt den Stimmlippen im langsamen Tempo schwingen, während die Stimmlippen selbst schnellere Schwingungen ausführen. Weder von der falschen Hypothese, dafs die Stimmlippen wie Saiten schwingen, noch von der Kompressions- und Biegungstheorie läfst sich gegen diese Annahme etwas einwenden.

Einen wirklichen Schlotterlaut im Kehlkopf kann ich nach Belieben hervorbringen. Der Laut aber mufs immer einen Vokalklang besitzen; da ja der Mund immer irgendwie eingestellt ist. Wie in Fig. 35 ersichtlich, kann ich den Schlotterlaut nicht sehr lang anhalten, sondern er fällt immer hin und wieder aus und läfst die eigentlichen Stimmschwingungen zum Vorschein kommen. Dieser Laut ist das »Kehlkopf-r«.

Sievers beschreibt das »Kehlkopf-r« als ein Stück intermittierender Stimme[1]). Dies ist nicht richtig. Wir hätten dann die Kurve eines intermittierenden Tones; nämlich nach einer Strecke mit Schwingungen müfste eine gerade Strecke folgen, dann eine Schwingungsstrecke, dann eine gerade Strecke usw. Der Eindruck auf das Ohr wäre dem eines schwebenden Tones ähnlich. Bei dem »Kehlkopf-r« ist für das Ohr das tiefe Rasseln das deutliche; der Stimmton ist nebensächlich. In der Kurve (Fig. 35) ist das starke Rasseln sehr schön zu sehen; die Strecken ohne Rasseln zeigen die kleinen Stimmenschwingungen.

Nach Brücke[2]) sollen die Stimmlippen beim »Kehlkopf-r« in einzelnen Stöfsen zittern. Die Figuren zeigen, dafs die Stimmlippen richtig gespannt sein müssen, da der Ton in jedem Augenblick einsetzen kann. Das Schlottern kann aber zustande kommen, wenn die Stützpunkte der Stimmlippen nicht genügend fest sind, sondern hin und wieder ins Wanken geraten. Dies könnte ganz gut durch Lockerung der Aryknorpeln im Cricoarytenoidalgelenk

1) Sievers, Grundz. d. Phonetik, 5. Aufl., S. 121. Leipzig 1901.

2) Brücke, Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute, S. 13. Wien 1876.

geschehen. Die Stimmlippen sind also richtig gespannt, aber die Spannung in den Muskeln, welche die Aryknorpeln festhalten, wird so weit nachgelassen, dafs die Knorpeln selbst vibrieren. Eine gewisse Periodizität in den Schlotterbewegungen ist nicht zu verkennen; sie schwanken meistens zwischen 0,02 Sek. und 0,05 Sek. (Schwingungszahl 50—20).

Wie aus den Kurven ersichtlich, ist dieses »Kehlkopf-r« nicht identisch mit den soeben besprochenen Vokalarten mit Knarrstimme und Strohbafsstimme.

Besondere Aufmerksamkeit beansprucht die Verbindung von Hauchlaut und Vokal. Wir haben oben gesehen, dafs der Anfang des amerikanischen Vokals regelmäfsig leise gehaucht (stimmlos oder stimmhaft) sein kann. In solchen Fällen bemerkt man überhaupt nichts von dem Hauchlaut. Wenn man nun den Vokal mit einem leisen Hauchlaut einsetzt, bekommt man Kurven wie die in Fig. 36 reproduzierte. Nach der inspiratorischen Einstellung (1—2) folgt eine Verschlufszeit (2—3). Es entsteht dann ein Hauch, welcher bei 4 etwas nachläfst. Schon bei 4 fangen die Stimmlippenschwingungen an. Der Vokal zeigt den gewöhnlichen Verlauf von 5 an. (Ein plötzlicher Ruck wie bei 6 kommt nicht selten in meinen Vokalen bald nach dem Anfang vor.) Wie das »jerk-h« (Ellis) setzt das [h] hier mit voller Stärke ein; der Druck wird aber nicht schwächer, sondern bleibt fast konstant bis zum Übergang in den Vokal. Auch wenn ich das [h] deutlicher ausspreche, bekomme ich Kurven von demselben Typus. Meyer hat für das Englische ein crescendo-diminuendo [h] konstatiert, was eigentlich meinem [h] nicht entspricht.

Bei dem anlautenden deutschen [h] (Fig. 37) von A. (Oberbayer) steigt der Hauch und fällt dann, ehe die Vokalschwingungen einsetzen. Ein ähnliches crescendo-diminuendo [h] hat Meyer bei einem Engländer beobachtet.[1]) Das einfache crescendo [h] von Meyer selbst[2]) habe ich in meinen Registrierungen nicht gefunden.

1) Meyer, wie oben, IIIa der Kurventafel.
2) Ebenda, IIa.

Oben haben wir bemerkt, dafs der Hauchlaut am Anfang eines Vokals stimmhaft sein kann. Solche stimmhafte Hauchlaute kommen regelmäfsig auch zwischen zwei Vokalen vor.

In Fig. 38 ist das Wort »oho« zweimal nacheinander von G. ausgesprochen worden. Im ersten Fall ist die inspiratorische Einstellung für den anlautenden Vokal ohne Schwierigkeit von 1—2 zu erkennen, danach folgt der Kehlkopfverschlufs (2—4). Der grobe Luftdruck steigt und fällt für den Vokal [o], ähnlich wie beim gesprochenen [o] (Fig. 7); er ist aber viel stärker. Plötzlich steigt der Druck von 5—6 bedeutend, bleibt

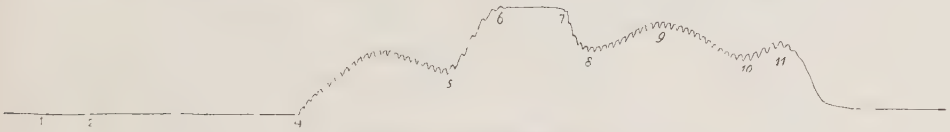


Fig. 38. »oho«, deutsch (G.).

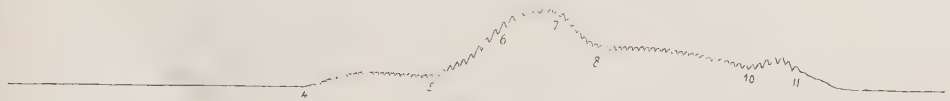


Fig. 39. »oho«, deutsch (G.).

dann konstant bis 7 und fällt nachher wieder plötzlich. Dann kommt wieder ein Vokal mit Druckschwankungen. Der Mittellaut ist [h]. Die Stimme tönt während des steigenden Druckes in unverminderter Stärke fort, klingt aber während des konstanten Druckes ab; sie setzt sofort wieder ein, wenn der Druck nachläfst. Die Drucksteigerung (5—6) deutet das Einsetzen eines Hauchlautes an, welcher von 6—7 konstant erhalten wird; bei 7 hört er plötzlich auf. Der Anfang des Hauchlautes ist also stark stimmhaft, aber die Stimme klingt nachher schnell ab. Der erste Teil des [h] ist also stimmhaft, der zweite stimmlos. Die Tonhöhe (Fig. 42) fängt etwa bei 130 an, wie in dem gesungenen [o] von derselben Person (Fig. 11). Sie sinkt aber während des Vokals (4—5), statt wie dort konstant zu bleiben, während der Luftdruck und die Amplitude sich stark vergröfsern; dies deutet auf eine allmähliche Entspannung der Stimmlippen bei Steigerung des Interthorakaldrucks. Die Entspannung wird

von 5–6 noch stärker, indem der Hauchlaut einsetzt. Nach 6 klingt die Stimme aus und ab. Wenn die Stimme wieder bei 7 einsetzt, ist der Ton wieder hoch; die Stimmbandspannung, welche eben geringer geworden war, hat sich plötzlich gesteigert. Die Melodie des auslautenden Vokals zeigt keine Besonderheiten.

Das zweite [oho] (Fig. 39) ist nicht so stark. Anlautender und auslautender Vokal sind wie vorher, nur schwächer. Der Mittellaut ist wieder ein starkes [h], aber während seiner ganzen Dauer tönt die Stimme — und zwar noch stärker

Fig. 40. »oho«, deutsch (L.).

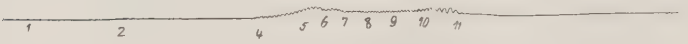


Fig. 41. »aha«, deutsch (L.).

wie in den Vokalen — ununterbrochen fort. Dieses [h] ist vollkommen, ja übermäfsig stimmhaft.

Die Melodie (Fig. 43) des anlautenden Vokals ist wie im vorigen Fall. Beim Übergang in den Hauchlaut — nach 5 — sinkt die Tonhöhe immer noch. Zwischen 6 und 7 sehen wir in diesem Fall die Steigerung auf einen hohen Ton allmählich ausgeführt.

Die Kurven für »oho« und »aha« von L. (Fig. 40, 41) zeigen beide vollkommen stimmhaftes [h]. Luftdruck und Amplitude (Tonstärke) sind aber in beiden Fällen beim [h] schwächer wie bei den Vokalen.

Das Senken der Tonhöhe vor Beginn des Hauchlautes und das Steigen während desselben kommen in den Melodiekurven (Fig. 44, 45) deutlich zum Ausdruck. Eigentümlich ist das gleichzeitige Tremolieren und Trillern während des [h] im ersten Fall (6—9 in Fig. 40, 44); ein schwaches Tremolieren ist auch im [h] in Fig. 41 zu erkennen. Man kann daran denken, dafs das in den gesungenen Vokalen erscheinende kurze Tremolieren bei L. (Fig. 3) durch denselben Mechanismus entstehe wie das [h] hier.

In den Kurven für »oho« auf Deutsch, Englisch und Japanisch habe ich immer ein stimmhaftes [h] gefunden; bei »aha« aber oft ein stimmloses. Dafs der Laut stimmhaft war, bemerkte keiner der Versuchspersonen; selbst ein geschulter Beobachter wie der Philolog Prof. Paul lieferte meistens ein stimmhaftes [h] ohne eine Ahnung davon zu haben.

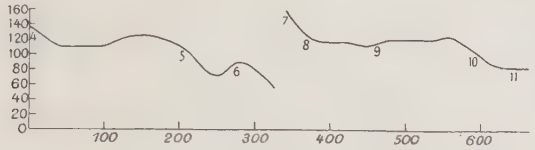


Fig. 42. Melodiekurve zu Fig. 38.

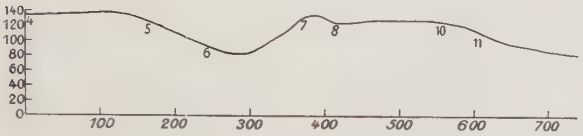


Fig. 43. Melodiekurve zu Fig. 39.

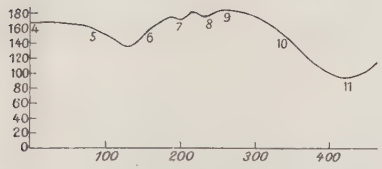


Fig. 44. Melodiekurve zu Fig. 40.

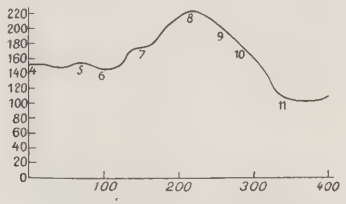


Fig. 45. Melodiekurve zu Fig. 41.

Aus Beobachtungen mit dem Ohr und aus Anschauungen a priori behaupteten die altindischen Phonetiker die Stimmhaftigkeit des [h]. Aus denselben Gründen aber entgegnet Whitney in seiner Ausgabe eines Sanskrittextes, dafs ein stimmhaftes [h] physikalisch unmöglich sei. Schon Czermak[1]) aber hat ein

1) Czermak, Über den Spiritus asper und lenis etc. Sitzungsbericht d. k. Akad. d. Wiss., Wien, math.-naturw. Kl. 1866, LII (2), S. 630; Gesammelte Schriften, Bd. 1 S. 756. Leipzig 1879.

stimmhaftes [h] laryngoskopisch beobachtet. Der erste experimentelle Beweis wurde von E. Meyer geliefert.[1]) Nach ihm ist das [h] stimmhaft zwischen Vokalen im Deutschen, Schwedischen, Englischen und Ungarischen; nach Pipping[2]) auch im Finnischen. Nach meinen Beobachtungen[3]) ist er gewöhnlich, aber nicht immer stimmhaft zwischen Vokalen im Deutschen, Amerikanischen, Spanischen und Japanischen. Der Mechanismus des stimmhaften [h] ist schon von Czermak beschrieben worden. Die Knorpelglottis ist offen, während die Muskelglottis geschlossen bleibt. Meyer hat dasselbe beobachtet.

Da der Mund beim stimmhaften [h] irgendeine Einstellung einnehmen mufs, so mufs ein vokalähnlicher Laut entstehen. Um die Natur des Vokallautes zu bestimmen, müssen wir die Luftschwingungen aufzeichnen — also Vokalkurven bekommen. Wie oben (S. 5) erklärt, sind die Wellen bei der hier angewandten Methode keine Vokalkurven; sie geben die Tonhöhe des Stimmtones genau richtig an, aber erlauben absolut keine Schlüsse über die eigentlichen Vokaltöne. Mittels einer im II. Teile zu beschreibenden Methode habe ich genaue Vokalkurven erhalten, und dabei zwei Fälle von intervokalischem [h] erhalten; die Wellenform während des [h] war in diesen Fällen ungefähr dieselbe wie im vorangegangenen Vokal. Das stimmhafte [h] hatte also hier einen bestimmten Vokalklang.

1) Meyer, Das stimmhafte H. Neuere Sprachen 1900, Bd. 8 S. 261.

2) Pipping, Zur Phonetik der finnländischen Sprache. Mém. de la Soc. finno-ongrienne, XIV, Helsingfors 1899.

3) Elements of Experimental Phonetics, p. 276. New York 1902.

II. Untersuchungen mittels Vokalkurven.

Als Vokalkurve wollen wir eine Kurve bezeichnen, welche die Bewegung eines Partikels der Luft kurz vor dem Mund des Sprechenden darstellt. Solche Kurven sind durch geeignete Registriermethoden zu gewinnen. Vorläufig können wirklich genaue Kurven nur mittels Apparaten erhalten werden, deren Leistungsfähigkeit durch Wiedergabe der Laute beurteilt werden kann. Die Schreibkapseln liefern keine Vokalkurven (S. 5), und die Phonautographen nur minderwertige Kurven; das Verhältnis zwischen den Kurven der manometrischen Flammen und den Luftschwingungen ist noch unerforscht.

Meine Untersuchungen über Vokalkurven sind hauptsächlich mittels Grammophonaufnahmen ausgeführt worden. Die zu untersuchenden Laute werden im Grammophonrecorder gesprochen. Die durch das Aufnahmerohr ankommenden Schallwellen setzen ein Glasdiaphragma in Schwingungen. Diese werden mittels eines gespitzten Hebels als eine Linie auf einer bewegten Fläche eingekratzt. Diese Fläche ist gewöhnlich die Oberfläche einer rotierenden Wachsscheibe. Die Schallwellen werden also als eine Wellenlinie auf dieser Oberfläche registriert. Von der Wachsscheibe wird auf galvanoplastischem Wege eine Metallmatrize gemacht. Diese Matrize wird unter hohem hydraulischen Druck und Hitze in eine aus Asbest und Schellack bestehende Masse eingepreſst; die Wellenlinie erscheint also auf der Oberfläche dieser Masse. Auf diese Weise werden die bekannten schwarzen Grammophonplatten hergestellt. Um den Schall zu reproduzieren, läſst man die Spitze eines dem Rekorder ganz ähnlich gebauten Reprodukteurs in der Wellenlinie der schwarzen Platte laufen. Die Spitze folgt den Bewegungen der Linie und überträgt so die Wellenbewegung auf die Membrane des Reprodukteurs; diese setzt die Luft in Schwingungen und erzeugt also mehr oder minder genau den ursprünglichen Schall wieder.

Es kommt alles darauf an, die ursprünglichen Schallwellen genau zu registrieren. Dazu sind nicht nur besonders genaue Apparate erforderlich, sondern auch ein geübter Sachverständiger. Auf Einzelheiten einzugehen, würde zu weit führen. Ich bemerke nur, dafs — wie ich bewiesen habe[1]) — der Rekorder um so besser arbeitet, desto ähnlicher die Bewegung der Membrane derjenigen eines Kolbens in einem Zylinder ist; alle Teilschwingungen mit Knotenlinien (Chladni-Figuren) sind zu vermeiden. Bei jeder Phase der Registrierung und der Reproduktion — Aufnahmerohr, Membrane, Hebel, Spitze, Matrize, fertige Platte, Reprodukteur usw. — sind Fehlerquellen vorhanden. Ein Urteil über die Gröfse dieser Fehlerquellen — also über die Genauigkeit der Registrierung und Reproduktion — wird gewonnen, wenn man den wiedergegebenen Schall mit dem ursprünglichen vergleicht. Bei wirklich guten Aufnahmen bleibt wenig zu wünschen übrig; bei einigen für meine Untersuchungen gemachten Aufnahmen sind die vom Grammophon wiedergegebenen Laute nur durch ihre Schwäche von den wirklich gesprochenen zu unterscheiden.

Die Wachsaufnahmescheibe wird etwa 70 mal pro Minute rotiert. Die Schallwellen sind sehr lang ausgezogen und sehr flach. Die Nadel des Reproduktеurs kann den Ausbiegungen solcher Kurven ohne Schwierigkeit folgen und so den Schall richtig wiedergeben. Durch das Auge aber sind die Einzelheiten solcher flacher Kurven nicht zu erkennen; an ein direktes Studium mittels Mikroskop ist also nicht zu denken.

Man könnte die Geschwindigkeit der Wachsscheibe vermindern, um direkt ablesbare Kurven zu bekommen; die Reproduktion würde aber leiden.

Um die Kurven auf der Grammophonplatte zu studieren, kann man sie vergröfsert abschreiben. Mein Apparat dazu ist in den Carnegie Researches, Ch. II, ausführlich beschrieben und abgebildet.[2])

1) Researches in Experimental Phonetics, Ch. I, Carnegie Inst., 1906.

2) Aufserdem in Studies from the Yale Psychological Laboratory 1902, X, p. 49; Elements of Experimental Phonetics, Ch. IV, New York 1902: Century Magazine 1902, May, p. 148; Annal. d. Naturphilos. 1904, IV, p. 28; Prometheus 1905, XVII, p. 1.

Die Kurve auf der Platte wird in 100—300facher vertikaler und in beliebiger horizontaler Vergröfserung unter peinlichster Genauigkeitskontrolle auf bis 50 m langen berufsten Papierstreifen abgeschrieben. Die Registrierungen werden nachher in kleine Teile zerschnitten und auf Pappe aufgezogen; auf diese Weise bekommt man Platten wie Tafel I und II.

Mittels dieses Apparates wurde eine ganze Reihe von Aufnahmen abgeschrieben, hauptsächlich in dem Psychologischen Laboratorium von Yale University.

Die sehr zeitraubende und kostspielige Ausarbeitung der Resultate wurde im Auftrag der Carnegie Institution aufgenommen und während dreier Jahre in München, Berlin und Zürich ausgeführt. Die ersten Resultate — von allgemeinerer Natur — erscheinen nächstens in den Publikationen der Carnegie Institution; die Ergebnisse, speziell für die englische (d. h. hier amerikanische) Sprache, werden ebenfalls bald erscheinen. Hier sei berichtet über zwei Tafeln aus Abschreibungen von deutschen Aufnahmen; sie sind die ersten Kurven dieser Art, welche für das gesprochene Deutsch veröffentlicht worden sind.

Tafel I ist die erste einer Serie, welche nach einigen einleitenden gesprochenen Worten ein von einem Deutschen, Alfred Doria, mit Bafsstimme gesungenes Lied wiedergibt.

Auf der Tafel stehen die gesprochenen Worte »Mit deinen blauen Augen, vorgetragen von Herrn —«.

Die vertikale Vergröfserung durch den Abschreibhebel ist in diesem Fall nicht sehr grofs, 153mal; die dadurch erhaltenen Kurven sind für das Studium der Vokale gut geeignet, aber die Konsonanten erscheinen nicht. Die in den Tafeln reproduzierten Kurven sind also alle Vokalkurven. Um Platz zu ersparen, sind alle Pausen und auch viele den Konsonanten entsprechenden Stellen ausgeschnitten worden; in jedem Fall ist die Länge der ausgeschnittenen Strecke auf der Tafel in Millimeter angegeben worden.

In Zeile 1 (Tafel I) finden wir schwache Schwingungen für den kurzen Vokal [ɪ] in »mit«. Der Diphthong [aɛ] in »deinem« fängt in Zeile 2 an. Die Methoden für das Studium der Vokalkurven können wir an diesem Diphthong bequem erläutern.

Wir bemerken, dafs die Wellen in [aɛ] gruppiert erscheinen. Jede Gruppe zeigt in den kleinen Wellen eine gewisse Ähnlichkeit mit ihren Nachbarn. Die Gruppen werden allmählich etwas kürzer aber sie sind ungefähr 10 mm lang, was mit der Zeitgleichung für diese Tafeln 1 mm = 0,0007 Sek. eine Periode von 0,0070 Sek. und eine Schwingungszahl von 143 ergibt. Aus dieser Gruppierung der kleinen Wellen und aus der Tonhöhe kann man sofort schliefsen, dafs jede Gruppe einer Schwingung von den Stimmlippen entspricht. Ein Vergleich mit anderen Kurven der Tafel zeigt, dafs die Gruppenlänge nicht sehr weit von diesem Beispiel sich entfernt; dafs sie alle also der Höhe der mit einer Männerstimme gesprochenen Worte entsprechen. Die kleineren Wellen innerhalb der Gruppen zeigen aber grofse Verschiedenheiten; sie sind also für die verschiedenen Vokale charakteristisch. Es ergeben sich also sofort zwei Merkmale: Wellenlänge und Wellenform, womit wir den Vokal studieren können.

Die erste Welle in [aɛ] ist so schwach, dafs ihre Einzelheiten nicht zu erkennen sind; die zweite ist stärker, die dritte noch stärker usw. Wir finden also, dafs der Vokal sein Maximum der Intensität kurz nach dem Anfang erreicht, um nachher allmählich schwächer zu werden. Ähnliche Verhältnisse kommen im Vokal [o] »vǫr-«, Z. 13 und in den meisten Vokalen dieser Aufnahme zum Vorschein; aber in anderen Fällen, wie [aʊ] Z. 9, liegt das Maximum in der Mitte oder gegen Ende.

Die Form der Wellengruppe ändert sich allmählich von Anfang an. Da die Form dem Vokalklang entspricht, mufs der Vokallaut von Anfang an seinen Klang geändert haben. In den von mir gesammelten Kurven, welche mehrere Tausende amerikanischer und etwa ein Hundert deutscher Vokale umfassen, habe ich nie das Gegenteil beobachtet. Dafs die Vokalstellung und daher der Vokalklang keinen Augenblick konstant bleibt, sondern jedesmal sich bedeutend ändern mufs, ist physiologisch ganz selbstverständlich. Wenn man z. B. zwischen [d] und [n] ein [aɛ] aussprechen will, wäre es denkbar, dafs die Vokalorgane plötzlich von einer [d]-Stellung in eine [a]-Stellung, dann mehr oder minder plötzlich in eine [ɛ]-Stellung und endlich in eine [n]-Stellung übergingen.

Die [a]-, [ɛ]-, [n]-Stellungen wären dabei ziemlich konstant. Dies ist die unter den Phonetikern herrschende Auffassung; die Übergänge werden »Gleitlaute« genannt; es soll sich zwischen benachbarten Lauten immer ein Gleitlaut einschieben; hier hätten wir eigentlich [d·a·ɛ·n] usw., wo der Gleitlaut durch den Punkt angedeutet wird.

Psychologisch und physiologisch ist aber etwas anderes zu erwarten. Es fällt dem Sprechenden gar nicht ein, eine Reihe von Lauten hervorzubringen; er will bei den Zuhörern einen Gedanken an »deinem« erwecken. Dies erreicht er durch ein Lautgemisch, dessen Einzelheiten ihn ebensowenig interessieren, wie die Eigentümlichkeiten seiner Schrift, wenn er ein Wort schreibt. In der Schule hat er gelernt, das Lautgemisch mit dem Wortbild »deinem« anzudeuten; auf seine Aussprache aber hatte das keinen Einfluſs. Das Lautgemisch bringt er durch Bewegungen zustande. Natürliche Bewegungen finden aber niemals ruckweise statt.

Man kann erreichen, mittels einer Reihe von Lauten mit ruckweise erzeugten Gleitlauten ein [d·a·ɛ·n·e n] hervorzubringen; man tut es aber ebensowenig wie man einen Brief mit druckähnlichen Buchstaben schreibt. Man würde viel eher annehmen, daſs die Laute durch kontinuierliche Bewegungen hervorgebracht werden, wobei die Vokalorgane keinen Augenblick in einer bestimmten Stellung verharren. Daſs dies richtig ist, beweisen die Vokalkurven. Der Klang wird sich notwendig ähnlich verhalten. Es kann eine einzelne Wellengruppe dem Laut eines bestimmten [a] entsprechen; die nächste muſs dann einem etwas verschiedenen Laut entsprechen; die nächstfolgende einem noch verschiedeneren usw. Innerhalb eines einzigen Vokals sind also ganze Reihen verschiedener Laute vertreten; man bekommt aber nur einen Gesamteindruck. Die Einzelheiten beachtet man nicht, weil man wegen der kurzen Zeit es einfach nicht kann.

Dieses Prinzip der Vokaländerung ist schon ausgesprochen worden[1]), aber trotz seiner Wichtigkeit haben die Phonetiker es niemals ernst genommen, sondern immer an der Legende von der Vokalstellung mit Gleitlauten festgehalten.

1) Paul, Prinzipien der Sprachgeschichte, 3. Aufl., S. 48. Halle 1898.

Die Wellen im zweiten Teil von [aɛ] sind total verschieden von denjenigen im ersten Teil; der Laut wäre also ein Diphthong zu nennen, wenn wir dabei nach dem eben Gesagten nicht vergessen, dafs der ganze Vokal (oder Diphthong) von Anfang bis zum Ende sich allmählich ändert.

Die Schwäche des zweiten Teils von [aɛ] ist bemerkenswert; ähnliches habe ich in anderen Fällen vom deutschen »ei« beobachtet. In einigen Dutzenden von Fällen vom amerikanischen »i« fand ich immer den ersten Teil schwach und das Intensitätsmaximum in der zweiten Hälfte. Das deutsche »ei« ist also ein fallender Diphthong, das amerikanische »i« ein steigender. Die dem amerikanischen Ohr so unangenehme deutsche Aussprache von Wörtern wie »light, right« usw. wäre durch eine dieser Tatsache entsprechende Belehrung oft leicht zu korrigieren.

Man darf vielleicht die Vermutung aussprechen, dafs der zweite Teil von [aɛ] im Deutschen im Verschwinden begriffen ist, wodurch er allmählich in [a] überzugehen droht, während im Amerikanischen das Gegenteil stattfindet.

Kehren wir jetzt zu Z. 1 zurück. Die kleineren Wellen fallen z. T. in Gruppen von zwei. Gelegentlich wäre man aber im Zweifel hierüber, wenn man nicht daran dächte, dafs die Stimme in der Nähe von 150 Schwingungen pro Sekunde läge, und dafs eine einzelne kleine Welle mit einer Schwingungszahl von 300 oder einer Gruppe von drei mit einer Schwingungszahl von 70 unmöglich einer Schwingung des Stimmtons entsprechen könnte. Der Vokal [ɪ] ist hier ziemlich schwach.

Die Wellen im zweiten Teil des [aɛ] werden allmählich schwächer; ihre Form geht allmählich in eine ganze andere über, welche als [n]-Wellen zu betrachten sind (Z. 3). Die etwas stärkeren Gruppen am Anfang von Z. 4 entsprechen dem sehr kurzen [ɛ] oder [ə]; der Vokal ist so kurz, dafs das Ohr nicht zwischen den zwei Lauten entscheiden kann (s. u.). Es folgen die schwachen Wellen für die voneinander hier nicht deutlich abgrenzbaren [n] und [b]. Das [l] fängt am Ende von Z. 5 an, erstreckt sich über den Anfang von Z. 6 und geht da in [au] über. Die Form der [l]-Welle ändert sich stetig. Nahe am Anfang von Z. 6 hat die

Wellengruppe immer noch die [l]-Form von Z. 5, aber die [a]-Form ist schon schwach angedeutet; diese Änderung wird in jeder folgenden Gruppe stärker; bei etwa der sechsten Gruppe ist eine volle Verschiedenheit zu konstatieren. Hier sehen wir beim Übergang von [l] zu [a] genau dasselbe, was wir oben beim Übergang vom ersten zum zweiten Teil des [aɛ] beobachtet haben.

Die Wellen ändern sich allmählich aber stetig durch Z. 6 und 7, bis sie gegen Ende von Z. 8 ganz schwach abklingen. (Die groben Schwankungen in der zweiten Hälfte von Z. 6 rühren von einer Erschütterung des Aufnahmeapparats her.) Wir wissen, dafs zwischen [b] und [n] etwas vorkommt, das wir mit dem Buchstaben »laue« [laue] oder [lauɛ] bezeichnen. Die Kurve beweist aber, dafs es nicht eine Reihe von Lauten mit Gleitlauten war, sondern ein stetiger Lautvorgang, innerhalb welchem keine Einzellaute abzugrenzen sind.

Das [aʊ] »Augen« fängt in Z. 9 ganz schwach an und wird allmählich stärker; die letzte Hälfte ist die stärkere; es ist also ein steigender Diphthong. Einige Wellengruppen sind mit einzelnen Formen in Z. 2 vergleichbar, aber die erste Hälfte kann kaum derselbe Laut wie in der ersten Hälfte von [aɛ] sein.

Der Übergang zu [g] in der zweiten Hälfte von Z. 10 geschieht in etwa fünf Wellen. Der schwache Vokal [ɛ] oder [ə] in Z. 11 geht allmählich in [n] Z. 12 über. Darnach folgt eine weggelassene gerade Linie von 251 mm Länge. Diese entspricht einer kurzen Pause und das [f] in »vor«.

Z. 13 enthält den Vokal [o], welcher stark anfängt, um dann allmählich schwächer zu werden (die gröfsere Schwankung am Ende der Zeile rührt von einem Defekt in der Aufnahme her). AmAnfang von Z. 14 geht der Vokal in [r] über. Diese Methode ist nicht geeignet, die Luftdruckänderungen bei [r] zu zeigen; seine Kurve läfst sich gelegentlich von einer Vokalkurve durch Unregelmäfsigkeiten in der Melodiekurve unterscheiden. In Z. 14 sind die einzelnen Laute voneinander überhaupt nicht abzugrenzen; das [r] geht in [g] über und dieses wieder in [ɛ]. In Z. 15 verschwinden die [ɛ]-Wellen vor dem Verschlufslaut [t]. Die 170 mm (= 0,11 Sek.) lange weggelassene gerade Linie

entspricht den Lauten [t] und [r]. Dann kommen die Wellen für das [a]. Das [a] verschwindet vor dem [g] in der Mitte von Z. 16. In Z. 17 finden sich die Wellen für das schwache, dem [g] nachfolgenden [n]; es war nämlich »tragn« nicht [tragɛn] oder [tragən] gesprochen.

Die 210 mm (= 0,14 Sek.) weggelassene gerade Linie entspricht dem [f] in »von«. Der Vokal [o] fängt in Z. 17 an, und geht in der Mitte von Z. 18 in [n] über. Dem [n] folgt in Z. 19 ein 105 mm (= 0,07 Sek.) langes [h]. Die Wellen für [ɛ] werden im letzten Viertel von Z. 19 von den [r]-Wellen gefolgt. In Z. 20 geht das [r] in [ə̃] über; die Zeile schliefst mitten im [n].

Der zweite Vokal in »Herrn« Z. 20 bietet nichts Abnormes. Er ist ein nasalierter Vokal, welcher den ersten Teil eines »n« darstellt.

Nunmehr fragen wir nach den Wellen der typischen Vokale. Aus den gesprochenen Worten kann man durch das Ohr keine bestimmten Aufschlüsse bekommen. Nach den Buchstaben erwartet man in »deinen« die Laute [dainen], aber es können z. B. statt [ai] ebensogut Lautfolgen wie [aɪ], [ae], [aɛ], [ɔi], [ɔɪ] usw. vorkommen. Wenn man mit besonderer Deutlichkeit spricht, kann man die Unterschiede zwischen diesen Lauten hören; aber bei der natürlichen Rede liefert das Ohr nur Täuschungen. Man könnte meinen, das [a] in »vorgetragen« müfste deutlich ein typisches [a] sein. Das Ohr aber kann nicht entscheiden, ob es ein wenig nach [o] oder [ɔ] hinüberklingt. In der Tat kann man mittels Sprachkurven beweisen, dafs derselbe Vokal selbst von derselben Person niemals ganz gleich ausgesprochen wird, sondern dafs er um einen Mittelwert hin- und herschwankt. Aufserdem ist der Klang eines Vokals ein von Anfang bis Ende fortwährend sich ändernder.

Wenn ein Vokal sehr lang ausgedehnt und verhältnismäfsig konstant ist, kann man sich von seinem durchschnittlichen Charakter überzeugen. Beim natürlichen Sprechen und Singen kommt es aber leider selten vor, dafs man irgend einen Vokal ganz bestimmt charakterisieren kann. Es gibt Leute, welche meinen, die Vokale beim Singen und Sprechen ganz präzis angeben zu können; aber die Meinungen sind oft ebenso zahlreich

wie die betreffenden Personen. Der einzig zuverlässige Weg für solche Bestimmungen liegt in Vergleichen von Sprachkurven untereinander mit dem Auge und in Messungen.

Der erste Vokal in »—tragen« ist ein deutliches [a]; wir nehmen also vorläufig an, dafs die Wellen für diesen Vokal in Z. 16 [a]-Wellen sind. Sehr ähnlich, aber nicht ganz identisch sind die Wellen in der Mitte von Z. 6; der erste Teil des Diphthongs [aʊ] in »blauen« ist also — wie zu erwarten war — auch ein [a]-Laut. Die Wellen für den ersten Teil von [aʊ] in »Augen« zeigen eine Ähnlichkeit mit den vorigen zwei Beispielen, aber der Vokal entfernt sich in der Mitte etwas von diesen Lauten; nach einer gewissen Ähnlichkeit mit den Wellen von [ɔ] »Norden«, Tafel II, Z. 19, zu urteilen, klingt es ein wenig [ɔ]-ähnlich.

Der Vokal in »vor-« Z. 13 wäre als ein typisches [o] aufzufassen. Wir bemerken zuerst, dafs der Anfangsteil des Vokals viel stärker als die späteren Teile ist. Zwei weitere Beispiele von »o« auf der folgenden (hier nicht reproduzierten) Tafel in »Doria« und in dem ersten Vokal von »Zonophon« zeigen dieselbe Wellenform und denselben starken Anfang; das letzte kurze »o« in »Zonophon« zeigt nur die starken Wellen, welche dieselbe Form wie in »vor-« haben. (Das zweite »o« ist abweichend). Die im ersten Teil von »vor-« zum Vorschein kommenden Wellen dürfen wir also wohl als typische [o]-Wellen ansehen.

Die Wellen von dem schwachen [ɪ] in »Mit« Z. 1 sind nicht genügend vergröfsert, um die Form deutlich zu zeigen. Ein deutlicheres [ɪ] erscheint in einer späteren Tafel, wo das Wort gesungen wurde; die zu zwei gruppierten Wellen stimmen mit zahlreichen Beispielen aus anderen Aufnahmen überein.

Die ersten Vokalwellen in »deinem« Z. 2 zeigen etwas Ähnlichkeit mit den Wellen für [a] Z. 6, aber eine Abweichung in der Richtung nach den Wellen in »vor-« Z. 13; wir dürfen also annehmen, dafs der erste Vokal in »deinem« mit einem zwischen [a] und [o] liegenden Laut anfängt. Etwas weiter — z. B. kurz vor der Mitte der Z. 2 — treten die kleineren Wellen mehr hervor; es entwickelt sich also ein hoher Ton. Später — z. B. bei

der Welle * in Z. 2 — ist die Form ganz den Wellen für [a] Z. 6, 9 ähnlich. Die Wellen des letzten Teils des Vokals Z. 2, 3 zeigen eine Ähnlichkeit mit den Wellen für [ɛ] Z. 19, aber nicht mit den [ɪ]-Wellen in Z. 1; [i]-Wellen zum Vergleich sind nicht vorhanden. Dieser Teil ist also kein [ɪ]-Laut, sondern wahrscheinlich [ɛ]. Wiederum bemerken wir, wie allmählich diese Wellenform aus den [a]-Wellen sich entwickelt. Eigentlich müfste man diesen Vokal als ein Triphthong betrachten, bei welchem der Anfang zwischen [o] und [a] liegt, der zweite Teil ein [a] und der letzte ein [ɛ] ist. Es ist ein absteigender Triphthong (oder Diphthong), weil das Maximum der Intensität im ersten Teil sich befindet.

Der Vokal in »blauen« fängt, wie eben erklärt, mit [a] an. Die Wellenform ändert sich allmählich; am Anfang von Z. 7 ist sie schon wesentlich verschieden geworden. Auf dieser Tafel findet sich kein deutliches [u], aber auf einer späteren erscheinen die Wellen von einem ungewöhnlich deutlich und ausgedehnten gesungenen [u], wie in »Stuhl«. Die Wellen in Z. 7 zeigen nicht die entfernteste Ähnlichkeit mit den [u]-Wellen; sie sind aber ganz gut mit den sehr starken Wellen im ersten Teil von Z. 10 zu vergleichen. Der Laut ist vielleicht [ʊ], wie in »Stulle«. Diese Wellen gehen allmählich in schwache [ɛ]-Wellen über, und diese wiederum in [n]-Wellen. Der Laut ist also ein Tetraphthong.

Der erste Vokal in »Augen« Z. 9, 10 fängt mit einem deutlichen [a]-Laut an und entwickelt sich in immer stärkeren Wellen, welche eine besondere Form in Z. 10 aufweisen. Obwohl kein Beweis dafür vorliegt, darf man die Wellen des zweiten Teils als [u]-Wellen auffassen. Der Vokal ist also ein steigender Diphthong [aʊ].

Die Wellen des Vokals in »von« Z. 17,18 weisen sich als geschwächte Kopien der [o]-Wellen in Z. 13 auf.

Die starken Wellen in Z. 20 müssen von einem Vokal herrühren. Sie zeigen eine deutliche [n]-Form; es mufs also ein Nasallaut vorliegen. Der Laut kann nicht [n] sein, da bei gesperrtem Mund — wie für [n] — so starke Wellen nicht er-

scheinen (vgl. die [n]-Wellen Z. 3, 4, 8, 15, 17). Den Laut wollen wir einen unbestimmten nasalierten Vokal nennen und dafür das Zeichen [ə̃] gebrauchen.

Tafel II ist die erste einer Serie von sieben Tafeln, welche die Kurve des Gedichtes »Der Fichtenbaum«, gesprochen von W. L. Elterich, wiedergeben. Die Kurve wurde nach der schon beschriebenen Methode gewonnen.

Bei der Augenanalyse bemerken wir, dafs die schon erklärten Prinzipien sich auch hier bewähren, z. B. die fortwährende Änderung jedes Vokals während seines ganzen Verlaufes, die Entwicklung eines jeden Lautes aus dem vorhergehenden usw. Wir wollen daher sofort zu den Einzellauten übergehen.

Die Wellen für »Ein« erstrecken sich über fast zwei Zeilen. Die Vokalwellen fangen schwach an und werden langsam stärker; in Z. 2 klingen sie allmählich ab. Die Form in Z. 1 läfst sich mit den [a]-Wellen in Z. 12, 13 und auch — obwohl nicht so gut — mit den [a]-Wellen auf Tafel I vergleichen; während fast zwei Drittel der Zeile also liegt ein [a]-ähnlicher Laut vor. Im letzten Drittel dieser Zeile gehen die Wellen in eine andere Form über, welche sich kaum mit irgendwelcher auf diesen Tafeln vorhandenen Wellen vergleichen läfst. Der Laut ist hier sicher nicht [ɪ] (vgl. Tafel I, Z. 1) und — wie ich aus zahlreichen [i]-Kurven konstatieren kann — auch nicht [i]. Ein Vergleich mit [ɛ], z. B. Tafel I, Z 19, ist kaum aufrechtzuhalten. Ein bestimmter Entscheid über die Natur des Vokals mittels Augenanalyse ist hier nicht möglich; wegen der Ahnlichkeit mit den [n]-Wellen kann man einen nasalierten Vokal — etwa ɛ̃ — vermuten. Ein Diphthong ist der Vokallaut hier aber eigentlich nicht; die Wellen für [ɛ̃] gehen allmählich in [n]-Wellen Z. 2 über; sowohl nach der Amplitude wie auch nach der Wellenform — und, wie wir unten sehen werden, auch nach der Melodie — ist die ganze Strecke als ein einheitlicher Laut aufzufassen. Einen Triphthong [aən] können wir diese Lautstrecke nennen, wenn wir damit lediglich sagen wollen, dafs der Laut teilweise [a]-ähnlich, teilweise [ɛ̃]-ähnlich und teilweise [n]-ähnlich klingt.

Die weggelassene gerade Linie (178 mm = 0,12 Sek.) entspricht dem [f]. Darnach folgt der Vokal [ɪ] mit aufserordentlich schwachen Wellen; für das [ɪ] zwischen den zwei stimmlosen Lauten [f] und [χ] setzt sich also der Stimmton nicht in gewöhnlicher Stärke ein.

Die weggelassene gerade Linie (390 mm = 0,27 Sek.) entspricht den stimmlosen Lauten [χ t]. Darnach, Z. 3, folgen die Wellen für den Vokallaut nach [t]. Mit dem Ohr kann man nicht unterscheiden, ob ein schwacher kurzer Vokal mit einem nachfolgenden [n] oder ein nasalierter Vokal oder endlich ein [n] ohne vorhergehenden Vokal vorliegt. Alle drei Fälle können hier vorkommen; die Wellen sind den [n]-Wellen sehr ähnlich; ein [n] oder ein stark nasalierter Vokal liegt vor.

Für [b] erscheinen bei diesen Vergröfserungen keine Wellen; das entsprechende geradlinige Stück (82 mm = 0,06 Sek.) wurde weggelassen.

Die Wellen für [aə] erstrecken sich von dem letzten Teil der Z. 4 bis etwa der Mitte der Z. 6. Die Form ändert sich allmählich; in der ersten Hälfte kann man eine gewisse Ähnlichkeit mit den [a]-Wellen in Z. 9 finden; dafs ein Unterschied doch besteht, ist sicher; ein Vergleich mit den [ɔ]-Wellen Z. 19 läfst eine Hinüberziehung nach [ɔ] vermuten. Die Wellen der ersten Hälfte von Z. 6 lassen sich nicht gut mit den [ʊ]-Wellen in Z. 7, 10 auf Tafel I vergleichen; es kann ein ähnlicher Laut [ə] vorliegen, aber bestimmteres läfst sich nicht angeben. In der letzten Hälfte von Z. 6 zeigen die Wellen die bekannte Form für einen nasalierten Vokal; in Z. 7 werden sie [m]-ähnlich.

Für die Pause nach »Fichtenbaum« und das folgende [š] »steht« ergab sich eine 361 mm (= 0,25 Sek.) gerade Linie. Der Vokal [e] in »steht« erstreckt sich über den Rest von Z. 7 und fast die ganze Z. 8; sie ist hier kurz (0,24 Sek.) und schwach, weil sie im schwächeren Teil des Taktes sich befindet. Für [t] sind 213 mm (= 0,15 Sek.) weggelassen worden.

Das [aẽn] »einsam« erstreckt sich über fast vier Zeilen; etwa die Hälfte zeigt die [n]-ähnlichen Wellen. Die Wellen für den ersten Teil des ersten Vokals sind deutlich [a]-ähnlich (vgl. Z. 9

mit Z. 12). Für den zweiten Teil (Ende Z. 9, Anfang Z. 10) sind sie kaum mit den [ɛ]-Wellen (Tafel I), sicher nicht mit den [ɪ]-Wellen zu vergleichen. Auch ein [i] ist der Laut nicht. Sie zeigt eine Ähnlichkeit mit den Wellen für [ɛ̃] Z. 1, 2. Aus denselben Gründen, wie früher, wollen wir hier den Vokal [ɛ̃] annehmen.

Für [z] Z. 11 wurden Schwingungen nur am Anfang erhalten; das Stück (173 mm = 0,12 Sek.) ist weggelassen worden.

Die Vokalwellen in Z. 11—14 rühren von einem deutlichen langen [a] her. Sie lassen sich gut mit den [a]-Wellen Z. 15, 16 Tafel I vergleichen, obwohl deutliche Verschiedenheiten zu bemerken sind. Es sind das solche kleine Verschiedenheiten, welche die im Klang der Stimme hörbaren persönlichen Unterschiede registrieren. Der Übergang von [a] durch einen nasalierten Vokal in [m] vollzieht sich verhältnismäfsig plötzlich in Z. 14. Nach dem ausklingenden [m] folgt eine Pause von 241 mm = 0,17 Sek.

Der Vokal in Z. 15 zeigt von Anfang an eine an [n] und [m] erinnernde Welle, welche als Ausdruck der Nasalierung anzusehen ist. Er geht allmählich in volles [m] über, Z. 16. Das [m] wird später ein [n], aber der Übergang ist nicht scharf abzugrenzen. Am Anfange von Z. 18 geht das [n] verhältnismäfsig schnell in den Vokal über. Die Vokalwellen ändern sich allmählich, bis sie gegen Ende von Z. 18 eine etwas andere Form zeigen. Diese Form hält sich verhältnismäfsig konstant fast über die ganze Z. 19. Diesen letzten Teil haben wir als [ɔ] angenommen. Der erste Teil zeigt eine gewisse entfernte Ahnlichkeit mit den Wellen von [a]; er klingt wahrscheinlich etwas nach [a] über.

Von Wichtigkeit ist die Tatsache, dafs das Ganze vom Anfang des [ĩ] bis Schlufs des [s] (auf der hier nicht reproduzierten Tafel) absolut keine Unterbrechung oder plötzliche Änderung zeigt. Das Ganze ist ein einziger Laut, welcher sich allmählich ändert. Die Amplitude steigt langsam, bleibt fast konstant und fällt vollkommen gleichmäfsig; die einzige Ausnahme findet sich Im Anfang von Z. 18, wo die [n]-Wellen vor Übergang in [ɔ] etwas schwächer werden.

Wenn man ein grofses Kurven-Material der verschiedensten Arten gesammelt hat, kann man die typischen Formen allmählich daraus ableiten und Kurvenanalysen in viel ausgedehnterer Weise vornehmen, als es mit diesen zwei Tafeln der Fall sein konnte.

Solche Vergleiche durch das Auge, wo man alle Ruhe hat, die Einzelheiten zu bestimmen, sind viel zuverlässiger als Beobachtungen durch das Ohr, wo grofse Unterschiede in ein paar hundertstel Sekunden vorkommen und wobei man fortwährend durch Suggestion getäuscht wird. Diese unmittelbare Analyse liefert aber nicht die Einzelheiten in bezug auf die Vokaltöne; dazu mufs die eigentliche mathematische Vokalanalyse angewandt werden. Darauf kommen wir weiter unten zurück.

Die Melodiekurve für Tafel I ist in Fig. 46 reproduziert; hier ist x = 0,010 Sek., y = 10 Schwingungen wie in den Figuren im I. Teil.

Die Melodie ist ziemlich monoton, wie das bei einer Ankündigung zu erwarten ist. Das Grundgesetz[1]), nach welchem jeder Ausdruckseinheit eine Melodie-Konvexität entspricht, kommt hier deutlich zum Vorschein. Die erste Ausdruckseinheit umfafst die Worte: »Mit deinen blauen Augen«. Der Anfang in »Mit« ist mäfsig tief, der Schlufs am Ende von »Augen« ist ungewöhnlich tief (Herr Doria hat eine Bafsstimme); der mittlere Teil ist höher. Die zweite Einheit ist »vorgetragen von Herrn Doria für den Zonophon«. Das Maximum (hier nicht gezeigt) liegt bei »Doria«; das Minimum bei »Zonophon«; der Anfang »vor-« ist mäfsig tief.

Die kleinen Einheiten kommen auch zum Ausdruck. Nach dem Eindruck auf das Ohr zu urteilen, fallen die ersten Worte in zwei Gruppen: »Mit deinen« und »blauen Augen«, was auch in der Melodiekurve zum Ausdruck kommt. Die nächsten Worte zerfallen in zwei Gruppen: »vorgetragen« und »von Herrn Doria«; aber eine Abgrenzung in der Melodiekurve findet man eigentlich

1) Researches in Experimental Phonetics (Carnegie Institution), Ch. III Washington 1906.

nicht. Jede Vokalkombination zeigt gewöhnlich eine untergeordnete Konvexität; so z. B. [ɪ] in »Mit«, [aɛnən] in »deinen«, [lauɛn] in »blauen«, [au] und [ən] in »Augen« (wegen der Steilheit des Schlusses kommt dies bei [ən] nicht so deutlich zum Vorschein),

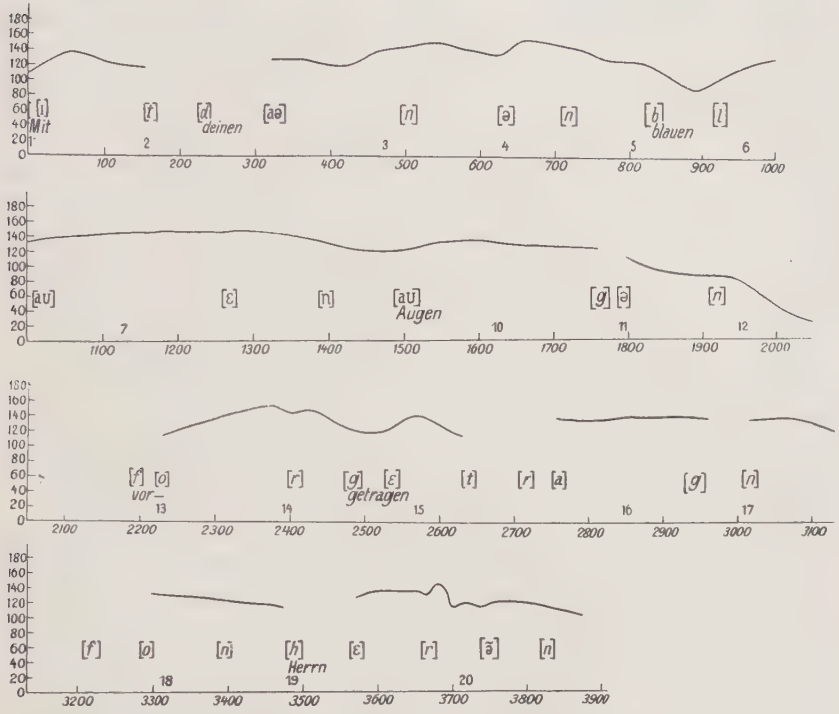


Fig. 46. Melodiekurve zur Tafel I.

[or] in »vor-«, [ɛ] und [n] in »getragen« und [ɛ] und [ɔ̃n] in »Herrn«. In einigen Fällen tritt eine ebene statt eine konvexe Melodie auf.

Das Prinzip der Ausdruckseinheit zeigt sich deutlich in den Melodiekurven von Martens, der kurze Wortgruppen, wie »Vater und Mutter«, »Der Donner rollt« usw. registrierte.[1])

Auch bei isolierten Vokalen ist die Melodie regelmäfsig konvex.[2])

1) Martens, Über das Verhalten von Vokalen und Diphthongen in gespr. Worten. Zeitschr. f. Biol. 1889, Bd. 25 S. 297.

2) Meyer, Zur Tonbewegung des Vokals usw. Neuere Sprachen 1897, IV, Phonet. Stud. 1.

Auch in meinen englischen Aufnahmen[1]) bewährt sich das Prinzip. Sonst liegt kein Material vor.

Tafel II wollen wir einer Analyse in bezug auf Dauer, Melodie und Stärke unterziehen — was man eigentlich eine Prosodie-Analyse nennen könnte.

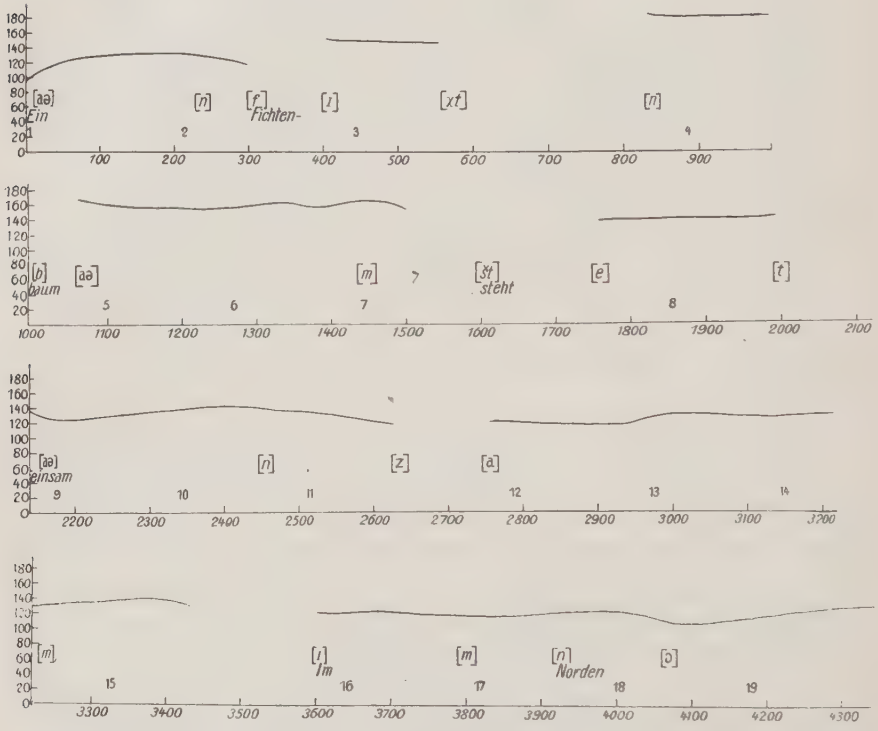


Fig. 47. Melodiekurve zur Tafel II.

Das [aε̃n] »ein« mufs man als eine Einheit betrachten; sie hat eine Dauer von 0,30 Sek. Ihre Melodie ist eine einheitliche horizontale Konvexität. Ihre Maximalamplitude (Anfang von Z. 2, gegen Ende von [aε̃]) ist 0,12 cm.

1) Stud. Yale Psych. Lab. 1902, X, Plates XII, XIII; Elements of Experimental Phonetics, Ch. XXXII; Philos. Studien, 1902, XIX, p. 599; Neuere Sprachen 1902/03, X, p. 514; Researches (Carnegie Institution 1906), Ch. III.

Für [ɪ] »Ficht-« ergibt sich eine Länge von höchstens 0,11 Sek. Die Melodie ist horizontal. Die Maximalamplitude ist höchstens 0,03 cm.

Nach den Regeln der Verskunst mufs die Silbe »ein« kurz oder schwach sein, die Silbe »Ficht-« lang oder stark. Die Tatsache, dafs die zweite Silbe trotz des schwachen Vokals doch sehr stark betont erscheint, erklärt sich aus den Konsonanten [χt], welche dem Vokal folgen. Diese Konsonanten haben eine Dauer von 0,27 Sek. Aufserdem erfordern [χt] verhältnismäfsig komplizierte Bewegungen der Zunge — also mehr Arbeit. Wie ich schon erklärt habe[1]), wird ein Laut als betont betrachtet, wenn er mehr Arbeit erfordert; diese besteht nicht nur in längerer Dauer, höherem Ton und gröfserer Schallstärke, sondern auch in der schwierigeren Artikulation. Die Silbe »Ficht-« erlangt hier ihre Stärke gerade durch die schwierigere Folge der Konsonanten [χt]. Die Konsonanten sind hier die »Träger« der Silbe im Sinne der Verskunst.

Das folgende [n] (oder nasalierter Vokal) hat eine mäfsige Maximalamplitüde von 0,06 cm und eine hohe Melodie. Trotzdem ist er wegen seiner Kürze (0,16 Sek.) schwach.

Der Laut [aəm] »-baum« zeigt eine langsam sich entwickelnde, horizontale, konvexe Melodie; seine Maximalamplitüde ist 0,13 cm. Die Länge ist 0,47 Sek. Die Silbe ist eine betonte wegen ihrer Stärke und besonders auch ihrer Länge.

Nach dem Sprachgebrauch ist die Silbe »steht« stark; dies rührt von der bedeutenden Artikulationsarbeit für [št] und dem langen Vokal [e]. Hier jedoch mufs die Silbe wegen des Versschemas schwach sein. Die komplizierte Lautfolge [št] beansprucht unumgänglich ziemlich viel Zeit; hier ist die Dauer 0,25 Sek. Der Vokal [e] mufs daher hier verkürzt gebraucht werden; trotz der Verkürzung hat er aber doch eine mäfsige Länge von 0,24 Sek. Die Melodie ist nur ein wenig niedriger als diejenige von »baum«. Obwohl der Vokal durch die ganz geringe Maximalamplitude von 0,10 cm sehr abgeschwächt wird, bleibt doch die Silbe noch etwas zu lang.

1) Elements of Experimental Phonetics p. 506.

Der Laut [aɛ̃n] »ein-« hat eine Länge von 0,50 Sek. und eine Maximalamplitüde von 0,10 cm. Die bedeutende Länge genügt, um die Silbe stark betont zu machen.

Nach dem Versschema soll die Zeile mit einer unbetonten Silbe schliefsen. Der Laut [am] »-sam« hat eine Dauer von 0,69 Sek., eine Maximalamplitude von 0,09 cm und eine horizontale ebene Melodie mit Beweglichkeit nur am Anfang und Schlufs. Die Silbe ist also als stark betont zu betrachten. Dies ist aber kein Defekt im Gedicht, sondern gerade das Gegenteil.

Erstens müssen wir beachten, dafs die Zeilen des »Fichtenbaums« nicht drei Betonungen sondern vier haben; die vierte Betonung fällt in die Pause. Jede Änderung beim Sprechen, welche einen psychischen Eindruck erzeugen kann, ist ein Ausdrucksfaktor; eine Pause während des Sprechens ist auch eine solche Änderung. Beim Sprechen des »Fichtenbaums« macht man unwillkürlich eine kleine Pause nach jeder Zeile; wenn man mit den Fingern den Takt regelmäfsig markiert, so fallen drei Betonungen auf die Worte jeder Zeile und die vierte auf die Pause. Statt der Pause am Ende der ersten Zeile läfst der Dichter die Zeit durch die Silbe »-sam« teilweise ausfüllen.

Um sich von dem Gesagten zu überzeugen, spreche man für sich das Gedicht und markiere wie ein Dirigent den Rhythmus. Man wird hierbei bemerken, dafs die Betonung nach folgendem Schema geschieht:

Ein Fichtenbaum steht einsam
Im Norden auf kahler Höh',

usw.

Zweitens bemerken wir, dafs das Wort »einsam« aus Lauten besteht, welche hier durch lange Dauer und monotone Melodie gekennzeichnet sind, die geradezu den Begriff des »einsamen« sprachlich veranschaulichen. Dieser Eindruck wird noch verstärkt durch die Hinüberziehung des Lautes in den vierten Takt. Natürlich hat der Dichter an solche Kunstgriffe gar nicht gedacht; es handelt sich hier lediglich um einen unbewufsten Ausdruck des Gefühls.

Die Lautreihe [ɪmnɔ] können wir nicht in Bestandteile zerlegen; wir dürfen also keine Silbentrennung vornehmen. Sie hat eine sehr grofse Länge 0,81 Sek., eine Maximalamplitude von 0,14 cm und eine horizontale Melodie, welche zuerst eben, dann konkav und endlich konvex erscheint.

Nun wenden wir uns zur Vokalanalyse. Was wir oben mit dem Auge aus den Kurven herausgelesen haben, ist eigentlich auch Vokalanalyse, aber jetzt kommen wir zur Frage der Resonanztöne des Vokals — also der Vokalanalyse im engeren Sinne.

Für diese Analyse existiert heute nur eine einzige Methode — die Fouriersche. Nach dem Satz von Fourier kann man jede Kurve — auch eine gerade Linie oder einen Punkt — als die Summe einer Reihe von einfachen Sinuskurven

$$y = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t$$

mit Perioden in den Verhältnissen $T = 1 : {}^1/_2 : {}^1/_3 \ldots$, wobei die Amplituden und Phasen als Variablen auftreten.

Praktisch läfst sich die Analyse auf folgende Weise ausführen: Die Grundperiode wird abgegrenzt — z. B. eine Welle der Vokalkurve — dann gemessen und in n gleiche Teile zerlegt. Die zu jedem Teilstrich zugehörige Ordinate wird gemessen. Mittels eines Rechenverfahrens bekommt man zwei Reihen von Werten $c_1, c_2, c_3, \ldots c_n$ und $q_1, q_2, q_3, \ldots q_n$; die erste gibt die Verhältnisse der Amplituden und die zweite die Phasen.[1])

Das Ergebnis ist ein rein mathematisches; die Kurve unbekannter Form wird in eine Reihe bekannter einfacher Sinuskurven aufgelöst; also:

$$f(t) = c_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - q_1\right) + c_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{{}^1/_2 T} t - q_2\right) + c_3 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{{}^1/_3 T} t - q_3\right) + \ldots$$

Mit der Vokalanalyse hat das Verfahren vorderhand nichts zu tun.

1) Für die mathematische Darlegung der Theorie: Fourier, Théorie analytique de la chaleur, Ch. III. Für die Anwendung auf Sprachkurven: Hermann, Phonophotographische Untersuchungen. Archiv f. d. ges. Physiol. 1890, Bd. 47 S. 45; Scripture, Elements of Experimental Phonetics, Appendix I. Für ausführliche Beispiele und Schablonen: Scripture, Researches in Experimental Phonetics, Carnegie Institution, 1906.

Haben wir aber vor uns eine Kurve, welche das Resultat einer begrenzten harmonischen Reihe von einfachen Sinusschwingungen ist, wie z. B. die Kurve einer gestrichenen Saite, dann geben die Werte c_1, c_2, c_3, ... die Amplituden der Teilschwingungen und q_1, q_2, q_3, ... ihre Phasen an.

Es kann aber eine Kurve vorliegen, welche das Resultat aus einer begrenzten Reihe von einfachen Sinusschwingungen darstellt, wo einzelne Glieder nicht zur Grundschwingung harmonisch sind, wie z. B. einer Kurve aus Komponenten mit den Perioden 1 : 2 : 2,3 : 3,7 : 6 ... Die Fouriersche Analyse stellt eine solche Kurve als das Resultat einer Reihe 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : ... dar; sie gibt keinen unmittelbaren Aufschlufs über das Vorhandensein von den Schwingungen 2,3 und 3,7 oder über das Fehlen von den Schwingungen 3, 4 und 5; es gibt auch die Amplituden von 1, 2 und 6 falsch an.

Es kann auch eine Kurve aus gedämpften Schwingungen entstehen, also aus Schwingungen von der Form

$$y = a \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

wo ε den Dämpfungsfaktor darstellt. Die Dämpfung kann bei den Teilschwingungen ganz verschieden sein. Hierüber gibt die Fouriersche Analyse überhaupt keinen unmittelbaren Aufschlufs. Wie ich an anderer Stelle gezeigt habe, liefert selbst die Fouriersche Analyse einer einzigen Sinusschwingung mit Dämpfung, eine unendliche Reihe harmonischer Komponenten.

Welcher Art nun sind die Vokalkurven?

Nehmen wir an, dafs die Vokalkurven aus einer harmonischen Reihe einfacher Sinusschwingungen zusammengesetzt sind. Dies wäre gleichbedeutend mit der Annahme, dafs die Vokale durch einen Apparat erzeugt werden, welcher nach Analogie einer gestrichenen Saite vor einer Reihe von Resonatoren die Luft in Bewegung setzt. Die Teilschwingungen der Saite stehen in harmonischen Verhältnissen; durch einzelne Resonatoren werden gewisse Teilschwingungen verstärkt, wie z. B. durch die nebenstehend fetten Zahlen ausgedrückt:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10.

In jedem Fall ist der stärkste Ton der Grundton der Saite. Eine Fouriersche Analyse einer solchen korrekt gewonnenen Kurve würde die Amplituden in ihren ursprünglichen Verhältnissen wiedergeben, also z. B. eine starke Amplitüde für den Ton 1, eine halb so starke für die Töne 2, 4 und 8 und ganz geringe für die anderen.

Eine Vokalkurve liefert aber fast niemals solche Resultate. Wie schon von Hermann gezeigt wurde, fehlt der Grundton in den Analysen gewöhnlich ganz oder fast ganz. Dieser ist aber weitaus der stärkste Ton; wenn wir überhaupt etwas vom gesprochenen Laut hören, ist der Stimmton vorhanden, selbst wenn alle anderen Töne verloren gehen. Da diese Kurven mittels eines Phonographen gewonnen wurden, so hat ein Phonetiker allen Ernstes behauptet, »der Phonograph mufs für den Stimmton taub sein«, obwohl er sich hätte sagen sollen, dafs es gerade dieser Ton ist, welchen auch der schlechteste Phonograph registriert und wiedergibt.

Wie Hermann zuerst mittels seiner Kurven bewies, gruppieren sich zusammen die durch die Analyse gewonnenen Amplituden. Man bekommt also nicht einige grofse Werte mit Nullwerten dazwischen, sondern Werte wie folgende:

Periode	1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^1/_4$	$^1/_5$	$^1/_6$	$^1/_7$	$^1/_8$	$^1/_9$	$^1/_{10}$
Frequenz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amplitude	4,2	8,5	3,2	7,3	2,2	13,9	44,7	50,2	13,6	14,6

Es fehlt kein Glied der Reihe; aber die Amplituden der letzten Hälfte gruppieren sich um die Töne 7 und 8. Dafs diese zwei Töne in fast derselben Stärke vorhanden waren, ist von vornherein kaum denkbar; wir müssen viel eher schliefsen, dafs der wirklich vorhandene Ton zwischen 7 und 8 lag.

Nehmen wir mit Hermann jetzt an, dafs die Vokaltöne unharmonisch zum Stimmton sein können. Der Einflufs eines unharmonischen Bestandteils verbreitet sich auf die harmonischen Resultate nach einer bestimmten Formel. Für jeden einzigen Teilton des Vokals erhält man eine ganze harmonische Reihe von Teiltönen als Ergebnis der Analyse; für zwei Teiltöne erhält

man eine harmonische Reihe, welche aus zwei voneinander nicht abzutrennenden Reihen besteht usw. Man konnte nun die Fourriersche Analyse auf die Vokalkurve anwenden, und nach dem Hermannschen Schwerpunktsverfahren die unharmonischen Bestandteile ausrechnen. Auf diese Weise habe ich viele Hunderte Vokalkurven analysiert. Die Resultate aber ergaben gar keine richtige Übereinstimmung zwischen den Kurven verwandter Vokale. Die Analyse von einer [a]-Kurve gab z. B. Teiltöne an, welche total verschieden von einer wirklich nur wenig verschiedenen [a]-Kurve waren, während sie mit den Teiltönen eines [u] nahe übereinstimmen konnten. Das Resultat zweijähriger Arbeit ergab, dafs nach dieser Methode keine befriedigende Übereinstimmung ähnlicher oder Differenzierung verschiedener Laute zu erreichen ist. Es mufste in der zugrunde gelegten Annahme ein Fehler vorhanden sein. Dieser lag darin, dafs die Vokalschwingungen nicht einfache Sinusschwingungen sind.

Nehmen wir jetzt an, dafs die unharmonischen Teilschwingungen, aus welchen eine Vokalkurve sich zusammensetzt, nicht einfache sondern gedämpfte Sinusschwingungen, d. h. von der Form

$$y = a \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

sind.

Ein Vokal wäre also auf folgender Weise gebaut zu denken. Zu der ersten stark gedämpften Fundamental-Schwingung von den Stimmlippen kommen andere gedämpfte Vokal-Schwingungen, deren Perioden vollkommen unabhängig von derjenigen der Fundamentalschwingung sind. Eine Vokalkurve wäre also

$$f(t) = R_1 \cdot e^{-\varepsilon_1 t} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T'} t - q_1\right) + R_2 \cdot e^{-\varepsilon_2 t} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T''} t - q_2\right) + \ldots,$$

wo R_1, R_2, $\cdots$ die Amplituden der Teilschwingungen, T', T'', $\cdots$ ihre Perioden, q_1, q_2, $\cdots$ ihre Phasen und ε_1, ε_2, $\cdots$ ihre Dämpfungsfaktoren sind. Diese Quantitäten sind vollkommen unabhängig voneinander.

Wenn man die Gröfsen R, T und ε bei den Teiltönen des Vokals nicht kennt, liefert die harmonische Analyse Resultate, welche

unendlich vieldeutig sind. Die Fouriersche Methode — wenigstens in ihrer bisherigen Form — ist also zur Vokalanalyse nicht zu verwenden. Durch eine Modifikation ist sie aber doch auf folgende Weise anwendbar.

Die Kurve einer gedämpften Schwingung

$$y = a \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t$$

kann man in eine einfache Sinuskurve umwandeln, indem man mit $e^{\varepsilon t}$ multipliziert. Man bekommt also

$$e^{\varepsilon t} \cdot y = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

Haben wir z. B. eine Dämpfungskurve wie in Fig. 1 und wissen wir den Wert von e, dann können wir die entsprechende Kurve ohne Dämpfung konstruieren, indem wir jede Ordinate der Kurve in Fig. 1 mit dem entsprechenden Wert von $e^{\varepsilon t}$ multiplizieren. Den Wert ε bekommen wir auf folgende Weise. Aus den Entfernungen der Umkehrpunkte (Maxima und Minima) voneinander s_1, s_2, $\cdots$, s_n, einer gedämpften Schwingung bekommen wir die Dämpfung, indem wir setzen

$$d = 6\,\frac{(n-1)(\text{log. nat. } s_1 - \text{log. nat. } s_n) + (n-3)(\text{log. nat. } s_2 - \text{log. nat. } s_{n-1}) + \cdots}{n\,(n^2-1)}$$

und

$$\varepsilon = \frac{2\,d}{T},$$

wo T die Periode der Schwingung ist.

Wir messen z. B. die vertikalen Abstände der Maxima und Minima der Kapselkurve (Fig. 1) und erhalten $s_1 = 12{,}83$, $s_2 = 6{,}90$, $s_3 = 3{,}53$, $s_4 = 1{,}62$, $s_5 = 0{,}80$, $s_6 = 0{,}42$, $s_7 = 0{,}15$, $s_8 = 0{,}08$ mm. Die Periode ist $T = 2{,}60$ mm. Hieraus bekommen wir $d = 0{,}7271$ und $\varepsilon = 0{,}56$ als Dämpfungsfaktor.[1])

1) Die ausführliche Rechnung geschieht wie folgend:

s	100 s	log. nat. 100 s	
12,83	1283	7,1570	
6,90	690	6,3969	
3,53	353	5,8665	
1,62	162	5,0876	
0,80	80	4,3820	
0,42	42	3,7377	
0,15	15	2,7081	
0,08	8	2,0794	(Forts. nächste S.)

Dafs die Kurve sich nicht zu weit von einer eigentlichen Dämpfungskurve entfernt, prüfen wir, indem wir die horizontalen Abstände der Punkte messen, wo die Kurve die Nullachse schneidet. In diesem Fall sind sie annähernd gleich.

Jetzt multiplizieren wir jede Ordinate mit dem zugehörigen Wert von $e^{\varepsilon t}$. Z. B. für $t = o$, haben wir $e^{\varepsilon t} = 1{,}00$; für $t = 0{,}25$, $e^{\varepsilon t} = 1{,}15$; für $t = 0{,}50$, $e^{\varepsilon t} = 1{,}32$ usw. Die Ordinaten in Fig. 1 sind 9,08, 2,07, — 0,95, respektive. Die Ordinaten der gesuchten Kurve ohne Dämpfung sind also respektive 9,08, 2,38, — 1,25 usw.[1])

Wenn wir nun eine Kurve vor uns haben, welche aus einer harmonischen Reihe Sinusschwingungen mit demselben Dämpfungsfaktor zusammengesetzt ist, dann brauchen wir nur diesen Faktor zu kennen, um nach dieser Methode die Kurve in eine harmonisch zusammengesetzte Kurve ohne Dämpfung umzuwandeln. Auf das Resultat — die dämpfungsfreie Kurve — wenden wir dann ohne weiteres die Fouriersche Analyse an und bekommen die Amplituden und Phasen dieser Kurve. Die Amplituden der ursprünglichen Kurve bekommen wir auf einfache Weise mittels

$$d = \frac{6\,[7\,(7{,}1570 - 2{,}0794) + 5\,(6{,}3969 - 2{,}7081) + 3\,(5{,}8665 - 3{,}7377) + (5{,}0876 - 4{,}3820)]}{8 \times 63}$$

$$= 0{,}7271.$$

$$\varepsilon = \frac{1{,}4542}{2{,}60} = 0{,}56.$$

Die natürlichen Logarithmen bekommt man aus Tafeln (z. B. Ligowski, Taschenbuch der Mathematik, Berlin 1893) oder durch Umrechnung mittels Briggscher Logarithmen (bequeme Tafel auf S. 35 von Schlömilch, Fünfstellige Tafeln, Braunschweig 1902). Ob man mit 10, 100 oder 1000 multipliziert, ist gleichgültig, da die entsprechenden Faktoren bei der Subtraktion fortfallen.

1) Die Ausrechnung bei Ordinaten mit 0,25 mm Abstand geschieht folgendermafsen:

$$\varepsilon \cdot \log e = 0{,}56 \times 0{,}4343 = 0{,}2432.$$

t	$t\varepsilon \cdot \log e$	$e^{\varepsilon t}$	y	$e^{\varepsilon t} \cdot y$
0	0	1,00	9,08	9,08
0,25	0,0608	1,15	2,07	2,38
0,50	0,1216	1,32	— 0,95	— 1,25
0,75	0,1824	1,52	— 3,10	— 4,71
1,00	0,2432	1,75	— 3,96	— 6,93
1,25	0,404	2,01	— 3,31	— 6,65
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Division mit dem entsprechenden Wert von $e^{\varepsilon t}$.[1]) Wenn die Komponenten nicht harmonisch sind, machen wir die Korrektion ebenso, und wenden ein der Hermannschen Schwerpunktsmethode ähnliches Verfahren an.

Ein Mangel an dieser Methode ist der, dafs nur ein Dämpfungsfaktor gebraucht werden kann. Wir müssen also annehmen, dafs die Dämpfung bei allen Teiltönen gleich ist; dies ist gleichbedeutend mit der Annahme, dafs die Reibung im Kehlkopf und in den Vokalräumen dieselbe sei.

Bei den Vokalkurven begegnet man einer besonderen Schwierigkeit bei Bestimmung des Dämpfungsfaktors. Die Kurven sind aus einer Anzahl Teilschwingungen entstanden und ihre Formen sind sehr verwickelt. Ich verfahre folgendermafsen: Zuerst suche ich Wellen aus, welche Ähnlichkeit mit einfachen Dämpfungskurven zeigen. In Z. 18 Tafel I z. B. sind einige Wellen, welche ähnlich der Kurve einer rasch ausklingenden Stimmgabel sind. Bei einer der Wellen sind die Unterschiede zwischen Maxima und Minima $s = 1{,}40,\ 1{,}05,\ 0{,}50,\ 0{,}40,\ 0{,}45,\ 0{,}25$. Nach dem soeben beschriebenen Rechenverfahren ergibt sich daraus $\varepsilon = 0{,}17$. Andere Wellen auf den folgenden Tafeln liefern Werte, welche um $\varepsilon = 0{,}10$ herumliegen; diese letzte Zahl wird als Ausgangswert benutzt.

Um eine Welle zu analysieren, werden die n Ordinaten in gleichen Abständen gemessen. Die Werte werden auf Millimeterpapier eingetragen; die durch die Ende der Ordinate gezogene Linie mufs mit der ursprünglichen Welle übereinstimmen; auf diese Weise entdeckt man Messungsfehler. Nun berechnet man die Werte für $e^{\varepsilon t}$ und multipliziert jede Ordinate mit dem dazugehörigen Wert.[2]) Die Resultate werden auch auf Millimeter-

1) Ausführliche Beispiele in meinen Researches in Experim. Phonetics, Carnegie Institution, Washington 1906.

2) Z. B. für die Welle *Z. 2 mit einer Länge von 11,1 mm und bei Gebrauch von 36 Ordinaten haben wir $t_0 = 0$, $t_1 = 0{,}30$, $t_2 = 0{,}60$, $t_3 = 0{,}90$ usw. Mit $\varepsilon = 0{,}10$ ergibt sich $\varepsilon \cdot \log e = 0{,}04343$ und $\varepsilon t_1 \cdot \log e = 0{,}013$; für $\varepsilon t_2 \cdot \log e$, $\varepsilon t_3 \cdot \log e$ usw. ist dieser Wert einfach mit 2, 3, usw. zu multiplizien. Die Numeri aus den Resultaten sind die Werte für $e^{\varepsilon t}$, welche in der ersten Spalte der folgenden Tabelle gegeben werden. Die zweite Spalte

papier eingetragen; die resultierende Kurve mufs wie eine Welle ohne Dämpfung aussehen, d. h. alle Maxima und Minima werden ungefähr gleich weit voneinander stehen. Die ursprüngliche Welle ist als eine durch die Dämpfung verzerrte Welle zu betrachten; die neue Kurve soll die entsprechende Welle ohne Verzerrung sein. Wenn die neue Kurve immer noch Verzerrung zeigt, mufs man die Rechnung mit einem anderen Dämpfungsfaktor versuchen. Z. B. die Rechnung mit $\varepsilon = 0{,}10$ ergibt Kurven für [a] »deinen«, [a] »blauen« usw., welche wie unverzehrte Wellen aussehen. Aber für [a] »Augen«, [a] »tragen« usw. waren die Kurven in der entgegengesetzten Richtung verzerrt; man mufste es also mit kleineren Werten für ε probieren, bis man schliefslich bei $\varepsilon = 0{,}06$ resp. 0,05 usw. glatt aussehende Wellen bekam.

Auf die neuen Ordinaten wird die Fouriersche Analyse

---

enthält die 36 durch Messung gewonnenen Werte für die Ordinaten; die dritte Spalte die Ordinaten der dämpfungsfreien Kurve.

$e^{\varepsilon t}$	y	$y \cdot e^{\varepsilon t}$	$e^{\varepsilon t}$	y	$y \cdot e^{\varepsilon t}$
1,00	0	0	1,71	— 0,39	— 0,67
1,03	0,61	0,63	1,77	— 0,31	— 0,55
1,06	0,91	0,96	1,82	0	0
1,09	1,12	1,22	1,88	0,58	1,09
1,13	1,16	1,31	1,93	1,12	2,16
1,16	1,12	1,30	1,99	1,16	2,31
1,20	0,91	1,09	2,05	0,99	2,03
1,23	0	0	2,18	0,52	1,13
1,27	— 1,22	— 1,55	2,24	0	0
1,31	— 1,79	— 2,34	2,31	— 0,48	— 1,11
1,35	— 1,63	— 2,20	2,38	— 0,54	— 1,29
1,39	— 1,02	— 1,42	2,45	— 0,28	— 0,69
1,43	0	0	2,53	0,09	0,23
1,48	0,65	0,96	2,61	0,28	0,73
1,52	0,68	1,03	2,69	— 0,20	— 0,54
1,57	0,57	0,89	2,77	— 0,34	— 0,94
1,62	0,32	0,52	2,85	— 0,11	— 0,31
1,66	— 0,06	— 0,10	2,94	— 0,05	— 0,15

angewandt[1]); die Resultate geben die harmonischen Komponente der dämpfungsfreien Kurven.[2])

Aus den harmonischen Komponenten berechnen wir nun die Partialtöne. Wir suchen zuerst alle Minima aus der Reihe und verteilen jedes proportional auf seinen Nachbarn. Dann nehmen wir das Mittel aus jeder Gruppe von Werten zwischen zwei Minima. Die so erhaltenen Werte sind die Verhältniszahlen für die Partialtöne.[3]) Die Resultate für die auf Tafeln I und II mit * bezeichneten Wellen sind in nebenstehenden Tabellen angegeben.

In Tabelle I sind die Resultate der Reibungsanalyse gegeben. Die Spalte ε gibt den gebrauchten Dämpfungsfaktor an. Die Spalten 1—8 geben 1. die harmonische Reihe der Töne mit dem Stimmton als Fundamentalton, 2. die durch die Analyse für diese Töne gewonnenen Resultate. Z. B. für die mit * bezeichnete Welle des Vokals [a] in dem Wort »deinen« auf Tafel I Z. 2 finden wir nach Gebrauch der Analyse mit dem Dämpfungsfaktor 0,10 die Werte 0,31 für den ersten harmonischen Komponent, 0,84 für den zweiten, usw. Bei der Berechnung der Schwingungszahlen habe ich in dieser Tabelle die erste Dezimalstelle behalten, da sonst ziemlich grofse Abweichungen in den höheren Komponenten auftreten.

---

1) Fertige Schablonen dazu sind leider noch nicht käuflich. Die Schablonen für 12, 24, 36 und 72 Ordinate sind in meinen Researches (Carnegie 1906) abgebildet. Liniertes Karton und Papier dazu bekommt man von G. Heinecke, Berlin, Dorotheenstr. 36. Aus den Kartonblättern sind die betreffenden Löcher auszuschneiden und die +- und —-Zeichen einzutragen.

2) Z. B. für die *Welle in Z. 2 bekommen wir (unter Fortlassen der Dezimalzeichen):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
31	84	57	110	28	34	7	16	9	11	6	10	4	8	3	4	1	1

3) In den eben angeführten Werten sind Minima bei 57, 28, 7, 9, 4, 3 vorhanden. Der Wert 57 wird in dem Verhältnis 84 : 110 geteilt, also $16 + 41$; ebenso 28 nach 110 : 34 in $21 + 7$. Das Mittel der zwischen 57 und 28 liegender Gruppe ist also

$$\frac{(3 \times 41) + (4 \times 110) + (5 \times 21)}{41 + 110 + 21} = 3{,}9.$$

Die anderen Gruppen werden ebenso behandelt. Die Verhältniszahlen sind 1 : 1,9 : 3,9 : 5,9 : 8,1 : 9,9 : 11,9 : 14,0 : 16,0.

In Tabelle II sind die ausgerechneten Vokalpartiale angeführt. Z. B. für die analysierte Welle des Vokals [a] in »deinen« werden — wie in der Anmerkung auf S. 57 gezeigt — die Minima 57, 28, 7, 9, 6, 4, 3 proportional den Nachbarwerten verteilt; dann werden nach der Schwerpunktsmethode die Verhältniszahlen für die Partiale ausgerechnet. Wir bekommen also für

Tabelle I. Harmonische Komponente

Vokal	Wort	Tafel und Zeile	ε	1	2	3	4	5	6	7
[a]	deinen	I,2	0,10	128,7 31	257,4 84	386,1 57	514,8 110	643,5 28	772,2 34	900,9 7
[a]	blauen	I,6	0,10	147,3 13	294,6 3	441,9 22	589,2 57	736,5 45	883,8 12	1031,1 16
[a]	Augen	I,9	0,06	129,9 6	259,8 21	389,7 19	519,6 117	645,5 18	779,4 40	909,3 6
[a]	-tragen	I,16	0,05	124,4 18	248,8 13	373,2 17	497,6 47	622,0 4	742,4 15	870,8 4
[a]	-baum	II,5	0,15	153,1 78	306,2 10	459,3 27	612,4 65	765,5 5	918,6 10	1071,7 4
[a]	einsam	II,12	0,15	116,1 20	232,2 25	348,3 11	464,4 41	580,5 38	696,6 22	812,7 17
[ɔ]	Nord-	II,18	0,10	113,9 14	227,8 71	341,7 3	455,6 102	569,5 37	683,4 16	797,3 5
[ɔ]	Nord-	II,19	0,118	116,6 48	233,2 45	349,8 42	466,4 141	583,0 30	699,6 12	814,2 13
[o]	vorge-	I,13	0,10	101,7 60	203,4 63	305,1 105	406,8 28	508,5 16	610,2 8	711,9 12
[o]	von	I,13	0,17	128,7 34	257,4 25	386,1 26	514,8 63	643,5 11	772,2 25	900,9 9
[ʊ]	Augen	I,10	0,15	123,2 57	246,4 68	369,6 208	492,8 16	616,0 18	739,2 33	862,4 7
[ə]	-baum	II,6	0,15	151,9 7	303,8 48	455,7 100	607,6 37	759,5 3	911,4 13	1063,3 1
[n]	ein	II,2	0	141,7 8	283,4 36	425,1 15	566,8 3	708,5 3	850,2 2	991,9 1
[m]	im	II,16	0	115,9 33	231,8 47	347,7 4	463,6 5	579,5 5	695,4 1	811,3 1
[ɔ]	Herrn	I,20	0,05	128,7 43	257,4 70	386,1 15	514,8 2	643,5 8	772,2 3	900,9 5

diese Welle die Zahlen 1,9, 3,9, 5,9, 8,1, usw. wie oben angeführt. Jede dieser Zahlen mit der Schwingungszahl des Stimmtons multipliziert gibt die Schwingungszahl des betreffenden Partialtons. Diese Schwingungszahlen werden in der ersten der zu jeder Welle zugewiesenen vier Zeilen angegeben; die Verhältniszahlen selbst werden in der zweiten dieser Zeilen angeführt. Die

der *Wellen in Tafel I und II.

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1029,6	1158,3	1287,0	1415,7	1544,4	1673,1	1801,8	1930,5	2059,2	2187,9	2316,6
16	9	11	6	10	4	8	3	4	1	1
1178,4	1325,7	1473,0	1620,3	1767,6	1914,9	2062,2	2209,5	2356,8	2504,1	2651,4
12	6	4	3	3	3	5	1	4	1	0
1039,2	1169,1	1299,0	1428,9	1558,8	1688,7	1818,6	1947,5	2078,4	2208,3	2338,2
6	2	9	2	4	2	3	2	1	0	3
995,2	1119,6	1244,0	1368,4	1492,8	1617,2	1741,6	1866,0	1990,4	2114,8	2239,2
4	1	3	2	2	1	2	0	2	3	3
1224,8	1377,9	1531,0	1684,1	1837,2	1990,3	2143,4	2296,5	2449,6	2602,7	2755,8
6	2	3	2	3	2	3	1	2	2	1
928,8	1044,9	1161,0	1277,1	1393,2	1509,3	1625,4	1741,5	1857,6	1973,7	2089,8
21	12	4	1	2	4	3	2	1	5	4
911,2	1025,1	1139,0	1252,9	1366,8	1480,7	1594,6	1708,5	1822,4	1936,3	2050,2
9	11	2	6	1	7	6	2	4	4	7
932,8	1049,4	1166,0	1282,6	1399,2	1515,8	1632,4	1749,0	1865,6	1982,2	2098,8
6	4	4	10	1	2	7	3	6	2	2
813,6	915,3	1017,0	1118,7	1220,4	1322,1	1423,8	1525,5	1627,2	1728,9	1830,6
3	2	4	2	2	12	1	4	0	2	0
1029,6	1158,3	1287,0	1415,7	1544,4	1673,1	1801,8	1930,5	2059,2	2187,9	2316,6
6	2	2	2	5	3	2	1	2	6	4
985,6	1108,8	1232,0	1355,2	1475,4	1601,6	1724,8	1848,0	1971,2	2094,4	2217,6
10	7	3	6	9	11	5	18	5	4	2
1215,2	1367,1	1519,0	1670,9	1822,8	1974,7	2126,6	2278,5	2430,4	2582,3	2734,2
3	10	3	1	6	3	2	3	2	2	4
1133,6	1275,3	1417,0	1558,7	1700,4	1842,1	1983,8	2125,5	2267,2	2408,9	2550,6
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
927,2	1043,1	1159,0	1274,9	1390,8	1506,7	1622,6	1738,5	1854,4	1970,3	2086,2
0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
1029,6	1158,3	1287,0	1415,7	1544,4	1673,1	1801,8	1930,5	2059,2	2187,9	2316,6
0	1	6	2	1	1	1	0	1	1	1

Tabelle II. Partiale aus Tabelle I berechnet.

[a]	deinen	129	245	502	759	1043	1274	1532	1802	2459	—
		1	1,9	3,9	5,9	8,1	9,9	11,9	14,0	16,0	—
		?	84	110	34	16	11	10	8	4	—
[a]	blauen	147	—	501	692	1109	—	—	1953	2370	628
		1	—	3,4	4,7	7,5	—	—	13,3	16,1	4,3
		13	—	22	45	16	—	—	5	4	57
[a]	Augen	130	247	520	779	1039	1299	1572	1832	—	—
		1	1,9	4,0	6,0	8,0	10,0	12,1	14,1	—	—
		—	21	117	40	6	9	4	3	—	—
[a]	-tragen	124	—	460	759	983	1256	1406	1717	—	—
		1	—	3,7	6,1	7,9	10,1	11,3	13,8	—	—
		18	—	47	15	4	3	2	2	—	—
[a]	-baum	153	—	562	—	942	1223	1677	1837	2124	2559
		1	—	3,7	—	6,2	8,0	11,0	12,0	13,9	16,7
		18	—	65	—	10	2	3	3	3	2
[a]	einsam	116	197	569	—	964	—	1556	—	—	2596
		1	1,7	4,9	—	8,3	—	13,4	—	—	21,5
		20	47	38	—	21	—	4	—	—	5
[ɔ]	Nord-	114	205	513	—	968	1242	1538	—	—	—
		1	1,8	4,5	—	8,5	10,9	13,5	—	—	—
		?	71	102	—	11	6	7	—	—	—
[ɔ]	Nord-	117	187(?)	466	863	—	1259	1621	1877	—	—
		1	1,6	4,0	7,4	—	10,8	13,9	16,1	—	—
		48	48	141	13	—	10	7	6	—	—

[o]	vorge-	102	264	—	722	1027	1312	1526	—	—	—
		1	2,6	—	7,1	10,1	12,9	15,0	—	—	—
		?	105	—	12	4	12	4	—	—	—
[o]	von	129	—	476	785	1030	—	1557	—	2188	837
		1	—	3,7	6,1	8,0	—	12,1	—	17,0	6,5
		34	—	63	25	6	—	5	—	6	25
[u]	Augen	123	357	—	702	1047	—	1503	1873	—	308
		1	2,9	—	5,7	8,5	—	12,2	15,2	—	2,5
		?	208	—	33	10	—	11	18	—	208
[ə]	-baum	152	—	451	—	911	—	1367	1884	2446	—
		1	—	2,9	—	6,0	—	9,0	12,4	16,1	—
		?	—	100	—	13	—	10	6	3	—
[n]	ein	142	326	—	765	—	—	—	—	—	—
		1	2,3	—	5,4	—	—	—	—	—	—
		?	36	—	3	—	—	—	—	—	—
[m]	im	116	197(?)	533	—	1159	—	—	—	—	—
		1	1,7	4,6	—	10,0	—	—	—	—	—
		?	47	5	—	2	—	—	—	—	—
[õ]	Herrn	129	232	656	875	—	1326	—	—	—	
		1	1,8	5,1	6,8	—	10,3	—	—	—	—
		?	70	8	5	—	6	—	—	—	—

dritte Zeile enthält den gröfsten Wert aus jeder zum Ausrechnen des Partialtons angewandten Resultate der harmonischen Analyse; diese Werte geben Andeutungen über die Amplituden der Partiale.

Bei der Berechnung der Partiale habe ich viermal eine Abweichung von der strikten Schwerpunktsmethode eingeführt. Bei [a] »blauen« kann man einen Partial aus den Werten zwischen den Minima 3 und 12 ausrechnen; das Resultat ist der Ton 628 mit dem Verhältnis 4,3 zum Stimmton. Da die Zahlen um 57 nicht rasch abfallen, kann man die Möglichkeit in Betracht ziehen, dafs ein Ton bei 22 und ein zweiter bei 45 vorhanden sei; die Zahl 57 wird dann in dem Verhältnis 22 : 45 verteilt und die zwei Töne 501 und 692 mit den Verhältniszahlen 3,4 und 4,7 werden berechnet. In ähnlicher Weise habe ich einmal die Gruppe der Zahlen zwischen 11 und 2 in [o] »von« zur Bestimmung des Tons 837 mit der Verhältniszahl 6,5, und das andere Mal 9 zwischen 25 und 6 verteilt, wobei ich die Töne 476 und 785 bekam. In ähnlicher Weise ist bei [u] »Augen« der Ton 308 (Verhältniszahl 2,5) aus der Gruppe von 57 bis 16 bestimmt; da aber 57 teils oder ganz vom Stimmton herrühren konnte, ist in einer anderen Bestimmung 68 zwischen 57 und 208 verteilt, und der Ton 357 bestimmt worden. In jedem Fall sind beide Bestimmungen in die Tabelle eingetragen. Bei [n] »ein« ist ohne weiteres die erste Zahl 3 zwischen 15 und den folgenden 3 verteilt.

Betrachten wir jetzt die Werte für die sechs [a]. Es fällt uns sofort auf, dafs in jedem Fall ein starker Ton in der Nähe von 500 (nämlich 502, 501, 520, 460, 561, 569) vorliegt; mit einer einzigen Ausnahme ist er der am stärksten vertretene Ton. Ein charakteristischer Ton für das hier vertretene deutsche [a] von zwei Personen liegt also bei ais^1—d^2. Wir bemerken auch, dafs in den vier Beispielen von [a] bei Herrn Doria (Tafel I) auch ein Partialton in der Nähe von 750 (nämlich 759, 692, 779, 759) hervortritt; in einem Fall (»blauen«) ist dieser Ton stärker als der Ton bei 500. Ein charakteristischer Ton bei f^2—g^2 liegt also hier vor. Bei der anderen Person, Herrn Elterich, fehlt dieser Ton vollständig.

Diese Resultate stimmen auf das genaueste mit den Resultaten von Hermann überein; nur hat er alles zusammengeworfen und einen charakteristischen Ton für [a] zwischen c^2 und gis^2 angegeben. Hier sehen wir, dafs in jedem Fall der Ton bei 500 auftritt, während bei einer Person eine zweite bei 750 auch vorhanden ist. Da nach den Versuchen von Hermann sowie auch von Samoljoff ein [a] ohne den tieferen Ton und er hier ohne der höheren vorhanden sein kann, müssen wir schliefsen, dafs zum Wesen des [a] ein oder zwei zwischen ais^1 und gis^2 gelegenen Töne hervorgebracht werden müssen.

Noch ein gemeinsamer Ton kommt in der Nähe von 1000 vor. Weitere Partiale von übereinstimmender Tonhöhe finden wir bei [a] nicht. Wir schliefsen also hieraus, dafs nur die niederen Resonanztöne für das [a] wesentlich sind.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Resultaten für das [a] rühren von den verschiedenen Nuancen her. Ein Blick auf die Resultate für [ɔ] und [o] zeigt, dafs in vielen Fällen ein Ton in der Nähe von 450 vorkommt. Der niedrigerer Ton von [a] deutet also ein Hinüberklingen nach [ɔ] an.

In den Resultaten für [a] bemerken wir etwas eigentümliches. Bei [a] in »deinen« sind die Partiale fast genau in den Verhältnissen 1 : 2 : 4 : 6 : 8 : 10 : 12 : 14 : 16 vorhanden; die Partiale sind also harmonisch zum Stimmton. Bei [a] in »Augen« finden wir ganz genau die Verhältnisse 1 : 2 : 4 : 6 : 8 : 10 : 12 : 14, und bei [a] in »kann« 1 : 3 : 6 : 9. Solche Vokale müssen besonders musikalisch klingen.

Bei den anderen Vokalen kommen solche harmonische Verhältnisse nur für die höheren Partialen vor. Da die niedrigen Partiale für den Vokal [a] wesentlich, die höheren unwesentlich sind, müssen wir zu dem Schlufs kommen, dafs harmonische Verhältnisse zwischen den Partialen und dem Stimmton für den Vokalklang im allgemeinen unwesentlich sind. Diese Verhältnisse scheinen aber in bestimmten Vokalen besonders deutlich hervorzutreten. Vielleicht ist dies ein Grund, warum solche Vokale beim Singen bevorzugt werden. Sie sind auch die einzigen (namentlich [u], [o], [a]), welche mittelst Apparate künstlich erzeugt werden können.

Bei der Betrachtung von [ɔ] und [o] bemerken wir zuerst, dafs das kurze [o] in »von« zwei starke Töne 476 und 785 aufweist, was eine Ähnlichkeit mit [a] andeutet. Der stärkste Ton 476, etwa b^1, fällt mit der Angabe Hermanns über kurzes [o] — nämlich b^1—cis^2 — zusammen. Die Ähnlichkeit mit [a] in vielen Fällen des kurzen [o] im Englischen ist vielfach behauptet worden; ähnliche Beobachtungen im Deutschen sind mir nicht bekannt.

Die zwei aus verschiedenen Phasen des [ɔ] in »Nord-« analysierten Wellen weisen vollkommen verschiedene Partiale auf. Bei der ersten sind die zwei Hauptpartiale fast identisch mit den ersten zwei Partialen von [a] in »Augen« und auch eine Annäherung an den Partialen für [a] in »einsam«. Wir dürfen wohl behaupten, dafs diese Phase einen [a]-ähnlichen Klang hat. Die zweite Phase dagegen weicht entschieden vom [a]-Typus ab.

Dem [o] in »vorge-« fehlt der in [a] immer vorhandene Ton um 500; der Hauptpartiale 264 ist allein sehr stark.

Wenn wir diese Fälle von [a], [ɔ] und [o] vergleichen, dürfen wir wohl die Vermutungen aussprechen, dafs für den [a]-Klang der Ton um 500 wesentlich ist, dafs, wenn ein Ton um 200 sich hinzugesellt, der [a] eine Nuance nach [o] bekommt, und dafs dies auch vielleicht durch den Ton um 750 verstärkt wird.

Das hier vorliegende Material für die übrigen Laute ist sehr beschränkt. Bei [ʊ] in »Augen« liegt ein einziger sehr starker Ton bei etwa 350 vor, also in der Nähe von f^1; ein schwächerer Ton befindet sich bei 700, also etwa f^2. Für [u] gibt Hermann zwei Töne, c^1—f^1 und d^2—e^2 an; für den verwandten [ʊ]-Laut liegen keine Messungen vor.

Bei [ə] in »baum« finden wir nur einen starken Partialton, nämlich bei 600 oder dis^2. Eine Ähnlichkeit mit dem soeben besprochenen [ʊ] wäre zu erwarten; sie fehlt aber vollständig. Den Vokal bezeichnen wir mit [ə], da keine Vergleichsresultate vorliegen.

III. Theorie der Vokale.

Nach der Obertontheorie von Grafsmann[1]) und Helmholtz[2]) entsteht ein Vokal nach demselben Prinzip wie die Töne einiger Musikinstrumente. In dem Tone einer schwingenden Saite ist eine harmonische Reihe von Teiltönen vorhanden, nämlich der erste, zweite, dritte . . . Partialton, welche Schwingungszahlen in den Verhältnissen 1 : 2 : 3 . . . haben. Wenn man einen Messingresonator vor eine Saite hält, kann man denjenigen Partialton verstärken, welcher dem Eigenton des Resonators entspricht. Nach diesem Prinzip mufs ein Vokal entstehen, wenn man geeignete Resonatoren vor die schwingende Saite hält. Für jeden Vokal sind die Resonatoren verschieden zu wählen. Jeder Resonator mufs aber immer in seinem Eigenton mit irgendeinem Partialton der Saite übereinstimmen; sonst spricht er nicht an. Es ist aber bisher niemand gelungen, einen Apparat nach diesem Prinzip zu konstruieren, welcher die Vokallaute aufser [u], [o] und [a] wirklich gut erzeugte.

Die Vokalkurven liefern den endgültigen Beweis, dafs diese Theorie nicht richtig sein kann. Schon Donders[3]) hat beobachtet, dafs die Form der Wellengruppe mit der Höhe des Stimmtons sich ändert, was nicht der Fall wäre, wenn die Vokaltöne bestimmte Partialtöne wären.

Bei seinen genauen Kurven fand Hermann[4]) nach den Analysen, dafs die Vokaltöne fast immer unharmonisch zum Stimmton sind. Bei meinen Analysen ist dies auch gewöhnlich der Fall.

1) Grafsmann, Leitfaden der Akustik, Prog. d. Stett. Gymn., 1854; Über die physikalische Natur der Sprachlaute, Ann. d. Phys. u. Chem. 1877, I., p. 606.

2) Helmholtz, Über die Vokale. Arch. f. d. holl. Beitr. z. Natur- u. Heilk. 1857, I., S. 354. Über die Klangfarbe der Vokale. Ann. d. Phys. u. Chem. 1859, CVIII., S. 280; Ges. wiss. Abhandl. I., S. 395, Leipzig 1882. Die Lehre von den Tonempfindungen, 5. Aufl., S. 168, Braunschweig 1896.

3) Donders, Zur Klangfarbe der Vokale. Ann. d. Phys. u. Chemie 1864, CXXXIII., S. 528.

4) Hermann, Archiv f. d. ges. Physiol. 1889, XLV., S. 582; 1890, XLVII., S. 44; 1890, XLVII., S. 347; 1890, XLVIII., S. 181, 543; 1893, LIII., S. 1; 1894, LVIII., S. 264; 1895, LXI., S. 169.

Noch ein Einwand gegen die Helmholtzsche Theorie ist aus den Sprachkurven herauszulesen. Nach der Theorie ist ein Vokal die Summe einer harmonischen Reihe von Sinusschwingungen. Da der erste Partialton (der eigentliche Stimmton) beim Sprechen immer der stärkste ist, müfste dieses Element nach der Theorie in der registrierten Kurve deutlich vorhanden sein. Spuren eines solchen ersten Partialtones findet man in einzelnen Kurven (z. B. [n] Z. 20 auf Tafel I, [n] und [m] Z. 2, 4, 10, 16, 18 auf Tafel II). Meistens aber fängt jede Wellengruppe mit stärkeren Schwingungen an, welche mehr oder minder schnell ausklingen. Besonders schlagend erscheint das Fehlen des ersten Partialtones in einigen Kurven eines amerikanischen [a] (Fig. 48), worin keine

Fig. 48. Wellen aus einer Vokalkurve für [a].

Spur eines die ganze Periode ausfüllenden ersten Partialtones sich zeigt. Aufserdem ist ganz deutlich zu sehen, dafs sie von stofsähnlichen, abklingenden Schwingungen erzeugt sein müfsten, und unmöglich von einfachen harmonischen Sinusschwingungen herrühren können. Richtige Vokalkurven sind sie, da sie den Vokallaut vollkommen klar wiedergeben.

Nicht nur in solchen Kurven sondern auch in anderen, durch das Auge nicht erkennbaren Fällen beweist die harmonische Analyse, dafs der erste Partialton gewöhnlich sehr schwach ist.[1])

Aus dem Gesagten müssen wir schliefsen, dafs die Helmholtzsche Theorie, nach welcher die Vokale Summen von verstärkten Obertönen sind, als unvereinbar mit den mittels Vokalkurven konstatierten Tatsachen sich erwiesen hat.

Physiologisch erfordert diese Theorie einen Schwingungsmechanismus, welcher Partialtöne erzeugt. In der Tat glaubte Helmholtz, dafs die Stimmlippen wie Membranen schwingen; andere haben mehr an schwingende Saiten gedacht. Die Stimmlippen aber zeigen nicht die entfernteste Ähnlichkeit mit solchen

1) Hermann, Scripture, wie oben angeführt.

Gebilden. Sie sind dicke Muskelmassen, welche nicht nur zwischen zwei Stützpunkten, sondern auch auf einer Seite in ihrer ganzen Länge befestigt sind. Wie eine Membrane können sie nicht schwingen. Der Vergleich mit einer schwingenden Saite ist nicht zutreffend. Man denkt sich vielleicht das Ligamentum vocale als eine gespannte Saite. Nehmen wir einen solchen Vergleich vorläufig an; dann müssen wir in Betracht ziehen, dafs das Ligament seiner ganzen Länge nach mit einer Muskelmasse beladen ist. Man schneide eine Muskelplatte aus und ziehe eine Violinsaite einer Kante entlang; dann spanne man die Saite zwischen zwei Stützpunkten; aufserdem befestige man die andere Kante der Muskelplatte. Eine solche Einrichtung läfst sich nicht mit den schwingenden Saiten vergleichen. Wir schliefsen also, dafs, selbst wenn wir das Vorhandensein eines besonders entwickelten Ligamentum vocale in jeder Stimmlippe annehmen, wir notwendig folgern müssen, dafs die angehängte Muskelmasse jede Schwingung nach Art einer freien Saite ausschliefsen müfste. Aber tatsächlich ist ein solches scharf abgegrenztes Ligament nicht vorhanden, sondern nur fibröse Stränge, welche den Conus elasticus verstärken; es fehlt also jede Möglichkeit einer Saitenschwingung.

Die Helmholtzsche Theorie also, nach welcher die Schwingungen der Stimmlippen nach der Art von Membranen oder Saiten geschehen, scheitert an einer physiologischen Unmöglichkeit.

Das Grundprinzip einer neuen Theorie findet sich schon bei Willis.[1]) Der Stimmton soll aus einer Reihe von plötzlichen Luftstöfsen bestehen, wie bei einer Locksirene; je öfter die Stöfse kommen, desto höher der Ton; das Stofsintervall entspricht also der Periode des Stimmtones. Jeder Stofs nun setzt die Luft in den Resonanzräumen in Schwingungen; wir bekommen also mit jedem Stofs einen Vokalklang. Die verschiedenen Vokalklänge werden durch verschiedene Resonanzeinstellungen hervorgebracht. Der Vokal ist also bei einem einzelnen Stofs schon da. Nun kann der Stofs beliebig oft wiederholt werden; der Stimmton kann

1) Willis, On vowel sounds, and on reed-organ pipes. Trans. Camb. Phil. Soc. 1830, III., 231; also in Ann. d. Phys. u. Chem. 1832, XXIV., 397.

also höher oder tiefer werden und zwar bei jeder beliebigen Stellung der Resonanzräume. Die zwei Faktoren — Höhe des Stimmtones und Charakter des Vokals — sind also voneinander ganz unabhängig.

Ohne Kenntnis zu haben von der Willisschen Theorie hat Hermann mittels seiner Kurvenanalysen gezeigt: 1. dafs die Vokaltöne unabhängig vom Stimmton sein können, und 2. dafs der Stimmton aus einer Reihe von plötzlichen Luftstöfsen wie bei einer Locksirene entstehen kann. Er hat also die Richtigkeit der Willisschen Theorie endgültig bewiesen, und die Obertontheorie kann hiermit als abgetan gelten.

Physiologisch läfst sich diese Theorie gut begründen. Man sehe nur einen Durchschnitt durch die Stimmlippen an. Sie sind Muskelmassen, welche miteinander in Berührung gebracht werden. Durch den Luftdruck von unten werden sie seitwärts voneinander durch Kompression und Biegung momentan entfernt; nach dem Luftstofs fallen sie wieder zusammen. Die einfache, sich von selbst ergebende Erklärung der Wirkungsweise der Stimmlippen ist durch die Versuche Ewalds mit Froschmuskeln[1]) und die laryngostroboskopischen Beobachtungen Museholds[2]) bestätigt worden.

Von dieser Theorie ausgehend habe ich Versuche gemacht, die Vokale künstlich zu erzeugen[3]). Die Luftstöfse ahmte ich mittels aufschlagender Zungen aus Metall, Holz, usw. nach. Es wurden Resonatoren aus Metall, Kartoffel, Gummi usw. auf der Pfeife aufgestellt. Die Laute [u] [o] und [a] liefsen sich leicht in beliebigen Nüancen hervorbringen; die anderen aber nicht. In Erwägung, dafs die Mundwände meistenteils weich sind — also grofse Dämpfung zeigen — habe ich Resonatoren mittels auf Drahtformen befestigter Watte konstruiert; wenn diese mit Wasser durchtränkt

1) Ewald, Physiologie des Kehlkopfs. Heymanns Handb. d. Laryng. u. Rhin., I., S. 181. Wien 1898.

2) Musehold, Stroboskopische u. photograph. Studien üb. d. Stellung d. Stimmlippen in Brust- u. Falsettregister. Archiv f. Laryng. 1898, VII., 1.

3) Scripture, Report on the construction of a vowel organ. Smithsomian Misc. Collect. 1905, XLVII, p. 360.

wurden, stellten sie Resonatoren, die ganz zutreffend »Wasserresonatoren« zu nennen sind. Ein solcher Resonator antwortet nicht wie ein Messingresonator auf einen bestimmten Ton, sondern auf eine ganze Tonstrecke. Der Ton bekommt dabei einen eigentümlichen Vokalcharakter.

Es läfst sich jetzt eine vollständige Vokaltheorie aus den bekannten Verhältnissen im Kehlkopf und Mund entwickeln.

Wenn eine gute Stimmgabel in Schwingung gesetzt und dann sich selbst überlassen wird, so macht sie Bewegungen, welche nur von ihrer Elastizität und Reibung bestimmt werden. Sehen wir vorläufig von der Reibung ab, so haben wir die Bewegungsgleichung:

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = -sy,$$

deren Lösung

$$y = a \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{s}{m}} \cdot t - q\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

ist. Die Amplitude a hängt von der der Gabel erteilten Energie ab, die Schwingungszahl $\sqrt{\frac{s}{m}}$ in 2π Sekunden von der Elastizität s und der Masse m.

Wenn wir die Reibung berücksichtigen, müssen wir das entsprechende Glied in die Bewegungsgleichung einführen; wir bekommen also

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = -sy - b\frac{dy}{dt},$$

deren Lösung

$$y = a \cdot e^{-\frac{b}{2m}t} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{s}{m} - \frac{b^2}{4m^2}} \cdot t - q\right) \quad . \quad . \quad (2)$$

ist. Die Schwingungszahl hängt hier auch von der Reibung ab.

Setzen wir der Einfachheit halber $k = \sqrt{\frac{s}{m}}$, $\varepsilon = \frac{b}{2m}$ und $q = 0$, so haben wir statt (1) und (2)

$$y = a \cdot \sin pt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$y = a \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin\left(\sqrt{k^2 - \varepsilon^2} \cdot t\right) \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

als Gleichungen für Schwingungen ohne und mit Reibung.

Eine solche gedämpfte Schwingung (4) mit $q = \frac{\pi}{2}$ stellt die Kurve in Fig. 1 dar. Die Amplitude hat bei $t = 0$ sein Maximum a, bei jeder folgenden Halbschwingung ist die Maximalelongation kleiner und zwar in dem Verhältniss $e^{-\varepsilon t}$ (»logarithmisches Dekrement«). Wenn keine Dämpfung vorhanden wäre ($\varepsilon = 0$), würde die Maximalelongation immer den Wert a haben, und die Kurve sich auf (3) reduzieren. Die Dämpfung hat auch einen Einfluſs auf die Periode und zwar wird die Periode $\sqrt{k^2 - \varepsilon^2}$ kleiner mit steigender Dämpfung.

Betrachten wir den Fall, daſs eine Sinusschwingung dauernd auf einen Resonator wirkt; wie etwa, wenn eine schwingende Gabel vor einen Resonator gehalten wird. Die Bewegungsgleichung ist

$$m \frac{d^2 y}{d t^2} = - s y - b \frac{d y}{d t} + a \cdot \sin p t$$

und wir erhalten die Schwingungen

$$y = \frac{a}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4 p^2 \varepsilon^2}} \sin (p t - q_1)$$
$$+ R \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin (\sqrt{k^2 - \varepsilon^2} \cdot t - q_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Das erste Glied stellt die erzwungene Schwingung dar; sie dauert fort, solange die erregende Schwingung einwirkt; ihre Amplitude

$$H = \frac{a}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4 p^2 \varepsilon^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

hängt von dem Verhältnis zwischen einwirkender Schwingung und dem Eigenton des Resonators, sowie auch von der Dämpfung ab. Bei geringer Dämpfung (ε klein) hängt H wesentlich von k und p ab. Wenn der Unterschied klein ist, d. h. die zwei Töne dieselbe Höhe haben, wird $k^2 - p^2$ kleiner und H groſs; der Resonator »spricht an« bei annähernd gleichem Ton. Je gröſser aber der Unterschied, desto kleiner wird H; der Resonator antwortet nicht auf Töne, welche vom Eigenton entfernt sind. Nach der Obertontheorie muſs die Dämpfung klein sein; aus der Reihe von Teilschwingungen muſs irgendein p mit k übereinstimmen.

Wenn die Dämpfung grofs ist, hat der Unterschied $k^2—p^2$ weniger Bedeutung; die Amplitude H hängt wesentlich von der Dämpfung ε und der Schwingungszahl p ab. Es spricht also der Resonator eine ganze Strecke von Tönen an (bis $k^2—p^2$ auch grofs wird); die Strecke wird um so gröfser je gröfser die Dämpfung. Die Wasserresonatoren besitzen sehr ausgedehnte Resonanzstrecken. Ganz abgesehen von der Gröfse des Wasserresonators bekommt man von jedem einzelnen einen Klang bei fast jedem Ton im Bereich mehrerer Oktaven.

Da die Vokalräume wie die Wasserresonatoren auch sehr gedämpft sind, können sie auf einer grofsen Strecke von Tonhöhen antworten. Das finden wir nun tatsächlich beim Singen und Sprechen; innerhalb eines ganzen Tonbereiches bringen wir jeden Vokal ganz unabhängig von der Tonhöhe zustande.

Das zweite Glied von (5) stellt die Eigenschwingungen des Resonators da. Ihre Maximalamplitude R hängt von der dem Resonator erteilten Energie, also mitunter von a, ab; sie vermindert sich mehr oder minder schnell je nach der Gröfse ε. Die Schwingungszahl entspricht dem Eigenton des Resonators; sie ist unabhängig von p. Da das zweite Glied den Faktor $e^{-\varepsilon t}$ enthält, so verschwinden diese Eigenschwingungen mehr oder minder bald, während die dem ersten Glied entsprechenden Schwingungen konstant fortdauern.

Bei kleiner Dämpfung bekommt man — wenn k und p nur wenig verschieden sind (z. B. eine fortklingende Gabel vor einem Messingresonator) — zwei Töne: einen fortdauernden starken von der Höhe des Stimmgabeltons und einen bald verschwindenden von der Höhe des Resonatortons. Im ersten Augenblick kann man oft die beiden Töne ev. Schwebungen hören.

Bei grofser Dämpfung bekommt man in einem solchen Fall zwei Töne: einen schwachen, fortdauernden Stimmgabelton und einen verschwindenden Resonatorton. Der Unterschied zwischen den zwei Tönen kann sehr grofs sein, ohne das Resultat wesentlich zu ändern.

Betrachten wir jetzt die Stimmbandschwingungen.

Eine einfache Sinusbewegung der Stimmlippen darf man nicht voraussetzen; selbst wenn dies der Fall wäre, müfste man zuvor die allgemeinere Annahme machen, dafs die von den Stimmlippen herrührenden Stöfse einen beliebigen Grad der Plötzlichkeit zeigen können. Einfache Sinusschwingungen werden dann in dem Fall vorkommen, wo die Plötzlichkeit auf Null reduziert wird.

Man könnte auf den Gedanken kommen, den Vokalapparat mit einer Zungenpfeife zu vergleichen. Die Bewegung der Zunge kommt dadurch zustande, dafs, wenn sie in die Gleichgewichtslage durch ihre elastische Kraft zurückgebracht wird, sie durch den nach dem Sinus der Zeit periodisch wechselnden Druck in der Pfeife wieder entfernt wird. Die Schwingungen werden unterhalten dadurch, dafs regelmäfsig eine kleine Menge Luft hineingedrängt wird, deren Ausdehnung einen gröfseren Betrag lebendiger Kraft erzeugt, als durch ihren Widerstand gegen die Verdichtung verloren geht.[1]) Wesentlich ist das Ansatzrohr, ohne welches die Schwingungen nicht zustande kommen. Das Ansatzrohr mufs aber einen oder mehrere Eigentöne haben, und die Zunge schwingt nur mit der Periode eines dieser Eigentöne. Die Stimmlippen schwingen aber in beliebiger Periode; wie wir oben in den Vokalkurven gesehen haben, ändert sich die Periode von einer Schwingung zur nächsten. Dies würde eine unendliche Anzahl Resonatoren erfordern. Diese besitzt unser Vokalapparat nicht, und den Vergleich mit einer Zungenpfeife müssen wir deshalb aufgeben.

Noch ein anderer Vergleich ist möglich, nämlich mit einem akustischen (oder elektrischen) Unterbrechungsapparat. Wenn man eine aufschlagende Zunge ohne Ansatzrohr anbläst, bekommt man einen Ton, welcher aus einer Reihe plötzlicher Luftstöfse besteht. Der Vorgang wird folgendermafsen gedeutet. Durch den Luftdruck wird die Zunge aus der Gleichgewichtslage entfernt, dadurch entweicht ein Teil der Luft, der Druck wird schwächer, die Zunge findet bei ihrer Rückkehr geringeren Widerstand und verschliefst (ev. verengert) die Öffnung; der Luftdruck steigt und der Vorgang wiederholt sich usw. Es entstehen da-

1) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, Beilage VII., 624.

durch eine Reihe mehr oder minder plötzlicher Luftstöfse. Die Schwingungszahl hängt von der Elastizität und Masse der Zunge ab.

Bei aufschlagenden Zungen steigt der Druck schnell in die Höhe und senkt sich dann mehr oder minder plötzlich. Einen solchen Vorgang kann man bequem als eine Schwingungsbewegung auffassen, wobei die Periode aus der inneren Spannung, und die Plötzlichkeit des Einsetzens und Verschwindens aus gröfseren Widerständen abzuleiten sind. Die Bewegungsgleichung ist also wie oben (S. 69), und die Lösung ist in Gl. (4) gegeben. Hier wollen wir aber den Dämpfungsfaktor als sehr grofs annehmen und das Ganze auf die Luftstöfse vom Kehlkopf beziehen. Statt ε setzen wir daher Θ, um dies anzudeuten. Da wir von dem Verhältnis zwischen Reibung und Elastizität hier keinen Gebrauch machen, setzen wir einfach p für die Periode. Wir bekommen also vom Kehlkopf Luftstöfse von der Form

$$y = a \cdot e^{-\Theta t} \cdot \sin p t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Der Einfluſs eines solchen Stofses auf die Vokalresonanzräume ist jetzt zu untersuchen.

Die Bewegungsgleichung ist

$$m \frac{d^2 y}{d t^2} = -s y - b \frac{d y}{d t} + a \cdot e^{-\Theta t} \cdot \sin p t$$

deren Lösung [1])

$$y = \frac{a}{m \sqrt{(k^2 - p^2 + \Theta^2 - 2\,\Theta\,\varepsilon)^2 + 4\,p^2\,(\Theta - \varepsilon)^2}} e^{-\Theta t} \cdot \sin (p t - q) + R \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin (\sqrt{k^2 - \varepsilon^2} \cdot t - q') \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Das erste Element ist die erzwungene Schwingung; sie hat die Periode p der einwirkenden Kraft (d. h. das Interval vom einem Stimmstofs bis zum nächsten). Die Amplitude hängt ab von der Amplitude a der einwirkenden Schwingung, von der Masse m des Systems, von den Perioden p und k, von der Plötzlichkeit Θ der einwirkenden Schwingungen, von der Reibung ε des Systems und vom Unterschied zwischen den beiden letzten Faktoren. Die Amplitude am Anfang vermindert sich entsprechend Θ mehr oder minder schnell. Wenn der Stofs sehr

1) Researches in Experimental Phonetics (Carnegie Institution). Washington 1906.

plötzlich ist (Θ grofs), ist dieser Faktor im Resultat nicht ausschlaggebend, und die einwirkende Schwingung erscheint nur als eine momentane Modifikation am Anfang.

Das zweite Element ist die Schwingung des Resonanzraumes, welche vom Stofs erregt wird und dann sich selbst überlassen bleibt.

Die Gleichung (8) genügt zum Ausdruck der Einwirkung eines einzelnen Stimmstofses von mehr oder minder grofser Plötzlichkeit auf einen einzelnen Vokalraum. Für die Einwirkung des Stofses auf das Hohlraumsystem müssen wir eine Summe aus solchen Gleichungen bilden. Um dies anzudeuten, setzen wir das Summenzeichen vor jedem Glied in (8).

Wir bekommen also als die Gleichung für eine Welle eines Vokals

$$y = \Sigma \frac{a}{m\sqrt{(k^2 - p^2 + \Theta^2 - 2\,\Theta\,\varepsilon)^2 + 4\,p^2\,(\Theta - \varepsilon)^2}}\, e^{-\Theta t} \cdot \sin\,(p\,t - q)$$
$$+ \Sigma\, R \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin\,(\sqrt{k^2 - \varepsilon^2} \cdot t - q') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Das erste Glied stellt den eigentlichen Stimmton dar. Je nach der Beschaffenheit der Bewegung der Stimmlippen — mehr oder minder plötzlich usw. — erhält das erste Glied seine Beschaffenheit; es drückt also den Charakter der Bewegung an den Stimmlippen aus. Das zweite Element ist der mathematische Ausdruck für die Luftbewegung des Vokals; es stellt also den eigentlichen Vokalklang dar.

Die hier entwickelte Theorie, welche dem Grundgedanken von Willis entspricht, und welche durch die Vokalkurven von Hermann und von mir als bewiesen angesehen werden dürfte, ist mit der Wheatstone-Grafsmann-Helmholtzschen Theorie vollständig unvereinbar. Merkwürdig ist es, dafs Helmholtz sagt[1]): »Willis' Beschreibung der Schallbewegung bei den Vokalen trifft jedenfalls mit der Wirklichkeit ziemlich nahe zusammen; aber sie gibt nur die Art und Weise an, wie die Bewegung in der Luft geschieht, und nicht die entsprechende Re-

1) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen. 5. Aufl. S. 191. Braunschweig 1896.

aktion des Ohres gegen diese Bewegung.« Helmholtz gibt also hier zu, dafs die Willissche Theorie von der Ähnlichkeit der Stimmlippen mit aufschlagenden Zungen, von dem stofsähnlichen Impuls vom Kehlkopf und von der Unabhängigkeit der Vokaltöne vom Kehlton richtig sei; trotzdem entwickelt er eine Theorie, bei welcher die Stimmbänder die Rolle membranöser Zungen spielen[1]), die Mundhöhle ein Resonator mit festen Wänden sein soll[2]) usw. — eine Theorie, welche mit den Willisschen Anschauungen im Widerspruch steht. Das geschah alles, weil er glaubte, dafs diese Obertontheorie allein mit seiner Empfindungstheorie vereinbar sei.

Nach seiner Theorie des Hörens sollen nämlich die Fasern der Hörschnecke eine Luftbewegung in Teiltöne analysieren. Wie wir gesehen haben (S. 59), kann jede beliebige Kurve in eine harmonische Reihe von Sinuskomponenten zerlegt werden. Auch kann ein periodisch wiederholter Luftstofs von geeigneter Form eine Reihe von Resonatoren zum Ansprechen bringen. Seine Hörtheorie stimmt ebensogut mit der Luftstofstheorie wie mit der Obertontheorie der Vokale. Dies darf aber nicht so verstanden werden, dafs das Resultat für die Gültigkeit der Helmholtzschen Hörtheorie spricht. Die Luftstofstheorie der Vokale steht einfach als eine Tatsache da, mit welcher jede Hörtheorie rechnen mufs.

Der Resonanztheorie stehen gewisse Schwierigkeiten entgegen. Die Fasern der Membrana basilaris sind sehr stark gedämpft. Erstens befinden sie sich ja in einer Flüssigkeit, welche an sich schon jede Eigenschwingung schnell zum Verschwinden bringt. Zweitens liegt die Membrana tectoria als besonderer Dämpfungsapparat oben auf. Drittens sind sie mit Massen organischer Gewebe (Cortisches Organ) belastet. Viertens sind sie feuchte, weiche, organische Gebilde, nämlich Bindegewebsstränge, welche keine Ähnlichkeit mit Metall- oder Katgutsaiten zeigen. Endlich sind sie überhaupt keine selbständigen Stränge, sondern blofs verstärkende Fasern einer Membrane. Es ist vollkommen un-

1) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, S. 162.
2) Ebenda, S. 186.

möglich, dafs sie wie Messingresonatoren oder Pianosaiten ganz exakt auf bestimmte Töne reagieren; viel eher wäre ein Vergleich mit Wasserresonatoren am Platz, wobei jede Faser auf ein ganzes Tonbereich antworten würde.

Wie kommen nun die Tonempfindungen in der Schnecke zustande? Bleiben wir bei dem Vergleich mit den Wasserresonatoren mit starker Dämpfung. Ein solcher Resonator reagiert auf eine ganze Strecke von Tönen; umgekehrt reagiert auf einen Ton eine ganze Reihe solcher Resonatoren. Nun lassen wir den Ton von einer Gabel mit 100 Schwingungen auf das Ohr einwirken; eine bestimmte Reihe von Fasern — oder besser eine bestimmte Strecke der Membran — reagiert. Die hierdurch entstehenden Nervenimpulse kommen als ein bestimmter Ton zum Bewufstsein. Jetzt lassen wir den Ton 150 einwirken; eine teilweise verschiedene Strecke der Membrane reagiert; die Nervenimpulse erzeugen die Empfindung eines anderen Tones. Jeder Ton also erregt eine Strecke der Basilarmembran. Die Strecken sind nicht notwendig voneinander vollständig verschieden; zwei benachbarte Töne werden Strecken erregen, welche teilweise zusammenfallen. Aber mit jeder Verschiedenheit bekommen wir einen anderen Eindruck in Bezug auf die Tonhöhe.

Dieses Grundprinzip hat Helmholtz auch verwertet[1]), aber damit verschwindet die Analogie zwischen der Fourierschen Analyse und der Resonanztheorie. Bei der ersten wird die Bewegung in einfache Sinusschwingungen zerlegt, bei der anderen in gedämpfte Schwingungen. Aber gerade dadurch wird eine Hörtheorie gewonnen, welche der hier entwickelten Vokaltheorie vollkommen analog ist. Nach dieser Vokaltheorie ist ein Vokal die Summe einer Anzahl stark gedämpfter Schwingungen, deren Perioden zueinander in jedem Verhältnis (also harmonisch oder unharmonisch) stehen dürfen; nach der entsprechenden Hörtheorie wird eine Schallwelle in eine Anzahl stark gedämpfter Schwingungen zerlegt, deren Perioden von den anatomischen Verhältnissen in der Schnecke abhängen und in jedem Verhältnis zueinander stehen dürfen.

1) Lehre v. d. Tonempfindungen, S. 243.

Die hier entwickelte Vokaltheorie gibt die Weise an, wie die Vokale im allgemeinen erzeugt werden; jetzt haben wir die zwei Komponente — die Stimmlippenbewegung und die Vokalresonanzen — speziell zu betrachten.

Die Stimmlippen können als abgerundete Wülste einander genähert werden, wobei sie ganz weiche Töne hervorbringen. Nehmen wir an, dafs die Stimmlippen in einem solchen extremen Fall einfache Sinusbewegungen ausführen; wir erhalten dann einen Ton, welcher demjenigen einer Stimmgabel oder einer angeblasenen Hohlkugel ähnlich ist. Hier ist $\Theta = 0$ und der Ausdruck für das musikalische Element in Gl. (8) reduziert sich auf eine einfache Sinusform. Wenn die Stimmlippen nicht nach dem einfachen Sinusgesetz sich bewegen, sondern mehr ruckweise hin- und herschwingen, bekommen wir Schwingungen, bei welchen die positiven Phasen die negativen überwiegen. Schliefslich werden die Stimmlippen so fest aneinander gepreſst, dafs sie bei jeder Schwingung nur kurze Zeit den Glottisspalt offen lassen, um darnach wieder zusammenzuklappen; dies erzeugt eine Reihe plötzlicher Luftstöfse. Der dadurch erzeugte Ton kann mittels einer Lochsirene nachgeahmt werden, obwohl die Nebengeräusche störend sind. Einen täuschend ähnlichen Vokalton aber gewinnt man mit einem Vox humana Mundstück (ohne aufgesetzter Pfeife), wenn man eine hölzerne Zunge und lederne Aufschlagkante gebraucht. In einem solchen Fall ist Θ sehr grofs, und zwar steigt der Wert von Θ entsprechend der Kürze des Luftstofses.

Wir müssen ferner in Betracht ziehen, dafs die Stimmlippen sich nicht wie starre Massen verhalten. Im Gegenteil geraten sie bei ihren Bewegungen in Schwingungen innerhalb ihrer Muskelmassen. Sie erzeugen also nicht nur einen Fundamentalton p in Gl. (8), sondern auch eine Reihe von höheren Tönen. Dies drücken wir in Gl. (9) mit Σ aus. Wir dürfen aber nicht ohne weiteres annehmen, dafs diese höheren Töne harmonische Obertöne sind; die inneren Schwingungen solcher weicher Muskelmassen sind ja noch unerforscht.

Durch die Art der Bewegung der Stimmlippen wird der musikalische Charakter des Tones bestimmt; wir dürfen also diesen Teil des gesprochenen oder gesungenen Lautes als das »musikalische« Element bezeichnen; sein Ausdruck findet sich im ersten Glied der rechten Seite in Gl. (9). Als eine Eigentümlichkeit des Sprechens haben wir oben bemerkt, dafs die Stimmlippenbewegung sich dem Charakter des Vokals anpassen kann.[1])

Die in den Resonanzräumen erzeugten Töne — also die eigentlichen Vokaltöne — dürfen nach der hier entwickelten Theorie ganz beliebige Tonhöhen besitzen und in ganz beliebigen Verhältnissen zueinander und zum Stimmton stehen. Welche Verhältnisse bei den verschiedenen Vokalen wirklich vorliegen, ist in jedem Fall durch die Vokalanalyse festzustellen.

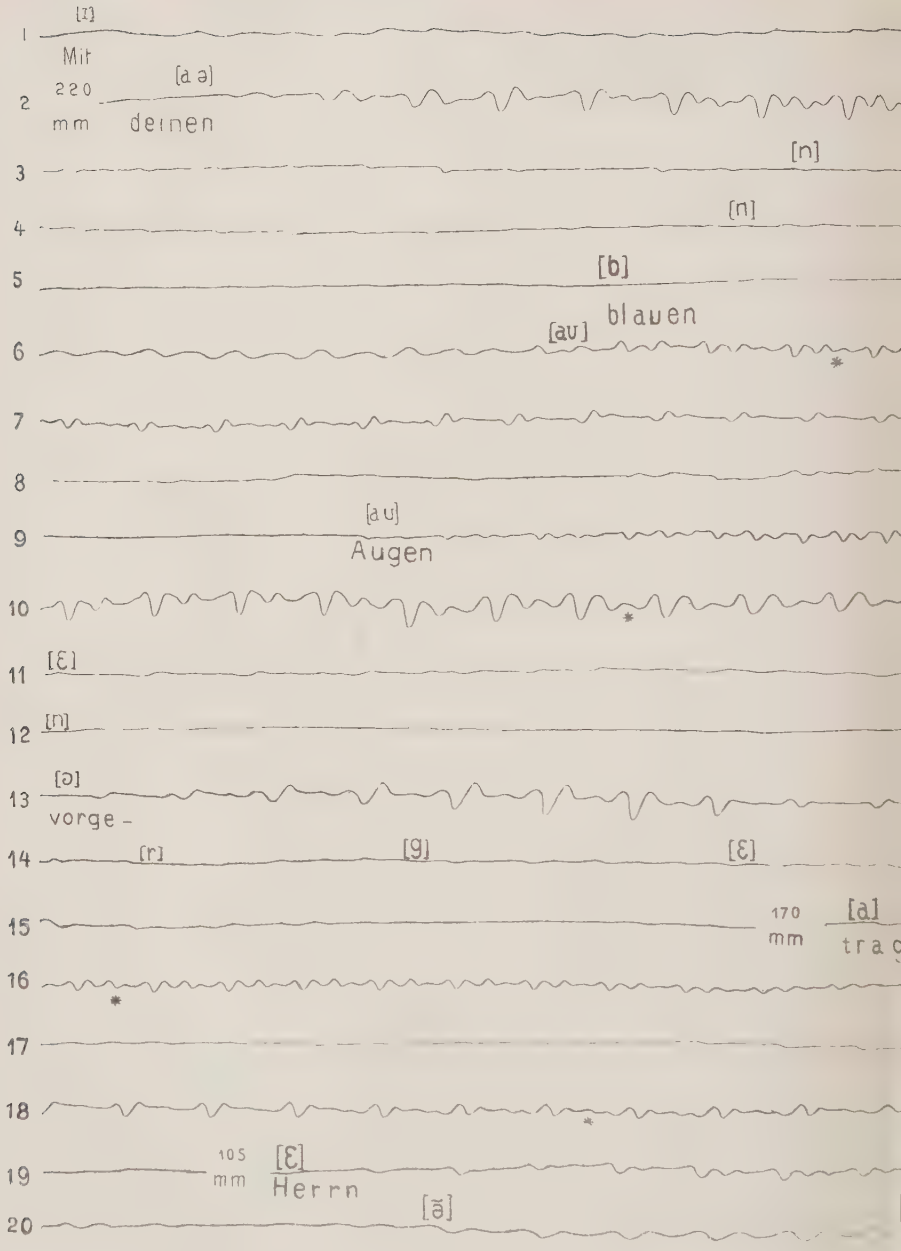
Das für die deutsche Sprache vorliegende Material ist sehr gering; es besteht aus Analysen der gesungenen Vokalen von Hermann und den hier vorliegenden Resultaten. (Wie ich in Ch. XX meiner Elements of Experimental Phonetics gezeigt habe, führen die Untersuchungen mittels vor den Mund gehaltenen Stimmgabeln, mittels Flüsterstimme usw., zu keinen zuverlässigen Resultaten). Hermann hat für jeden Vokal nur einen oder zwei Resonanztöne ausgerechnet; die Resultate beweisen aber, dafs feste Tonhöhen in dem Vokalcharakter die Hauptrolle spielen. Meine Beobachtungen führen zu demselben Resultat. Allerdings findet Hermann für gewisse verschiedene Vokale die gleichen Töne, z. B. gibt er für kurze [u], [o] und [ɔ] denselben Ton an usw. Es müssen also noch andere Töne bei diesen Vokalen vorkommen, oder noch weitere Momente mitsprechen, welche die Vokale voneinander unterscheiden. Diese weiteren Momente dürfen wohl in den Verhältnissen der Vokaltöne untereinander, in ihren Verhältnissen zum Stimmton und in der Akkommodation der Qualität des Stimmtons liegen.

1) Diesen Faktor der Vokalbilduug habe ich ausführlicher in einem Aufsatz: Über das Studium der Sprachkurven, in den Ann. d. Naturphilos. 1904, Bd. 4 S. 28, behandelt.

Vita.

Geboren am 21. Mai 1864 in Mason, N. H., U. S. A., besuchte ich die Schulen der Stadt New York, wo ich 1884 von dem College of the City of New York den Grad eines Baccalaureus artium (Reifezeugnis) erhielt. Während meiner philosophischen Studienjahre in Leipzig, Berlin und Zürich waren in den Naturwissenschaften meine Lehrer die Professoren Wundt (Psychologie), Wiedemann (Physik), E. H. Weber (Physik), Leuckart (Vergleichende Anatomie), O. Hertwig (Entwickelungsgeschichte), Hartmann (Anatomie), Siemerling (Gehirnanatomie) und Ludwig (Physiologie); in der Philosophie Zeller, Diels, Heinze, Avenarius u. a. 1891 promovierte ich in Leipzig magna cum laude als Doktor der Philosophie. Nach einem Stipendiumjahr (als Fellow) an der Clark University (Worcester, Mass.) war ich in den Jahren 1892—1903 zuerst Dozent, dann aufserordentlicher Professor und zugleich Direktor des Psychologischen Instituts an der Yale University (New Haven, Conn.). Seit 1903 habe ich im Auftrag der Carnegie Institution (Washington, D. C.) Untersuchungen auf dem Gebiete der experimentellen Phonetik ausgeführt — und zwar hauptsächlich in München, Berlin und Zürich. Während einer fünfzehnjährigen Tätigkeit als Forscher und Lehrer ist mir die Notwendigkeit einer abgerundeten medizinischen Ausbildung als Grundlage der psychologischen Forschung immer deutlicher geworden. Im Winter 1903 immatrikulierte ich mich deshalb als Student der Medizin an der Universität Berlin, wo ich drei Semester blieb; nach einem vierten Semester in Zürich übersiedelte ich nach München, wo ich noch zwei weitere Semester studiert habe. Die Förderung meiner Kenntnisse in der Medizin verdanke ich den Professoren (in der Anatomie) O. Hertwig, Rückert, H. Virchow, Waldeyer, (in der Physiologie) Engelmann, Gaule, Voit, (in der Pathologie) Dürck, Ernst, Orth, (in der Hygiene) Gruber, (in der inneren Medizin) Bauer, Eichhorst, Kraepelin, May, Friedrich Müller, Ziehen, Liebreich, (in der Chirurgie) Angerer, Lexer, (in der Gynakologie) Bumm. Im Sommer 1905 habe ich an der Universität Marburg (Ferienkurse) Vorlesungen über die experimentelle Phonetik gehalten. Meine hauptsächlichsten Publikationen sind »Über den qualitativen Verlauf der Vorstellungen« (Diss., Leipzig 1891), »The New Psychology« (London 1897), »Elements of Experimental Phonetics« (New York 1902), »Researches in Experimental Phonetics« (Carnegie Institution, 1906) und eine Anzahl psychologischer und phonetischer Abhandlungen. Die Arbeiten meiner Schüler sind hauptsächlich in den von mir herausgegebenen »Studies from the Yale Psychological Laboratory« veröffentlicht worden. Für meine Leistungen auf den Gebieten der experimentellen Psychologie und Phonetik wurden mir die goldene Medaille von Paris 1900, die bronzene von Buffalo 1901 und die Verdienstmedaille von dem Franklin Institut in Philadelphia 1902 verliehen.

Scripture.

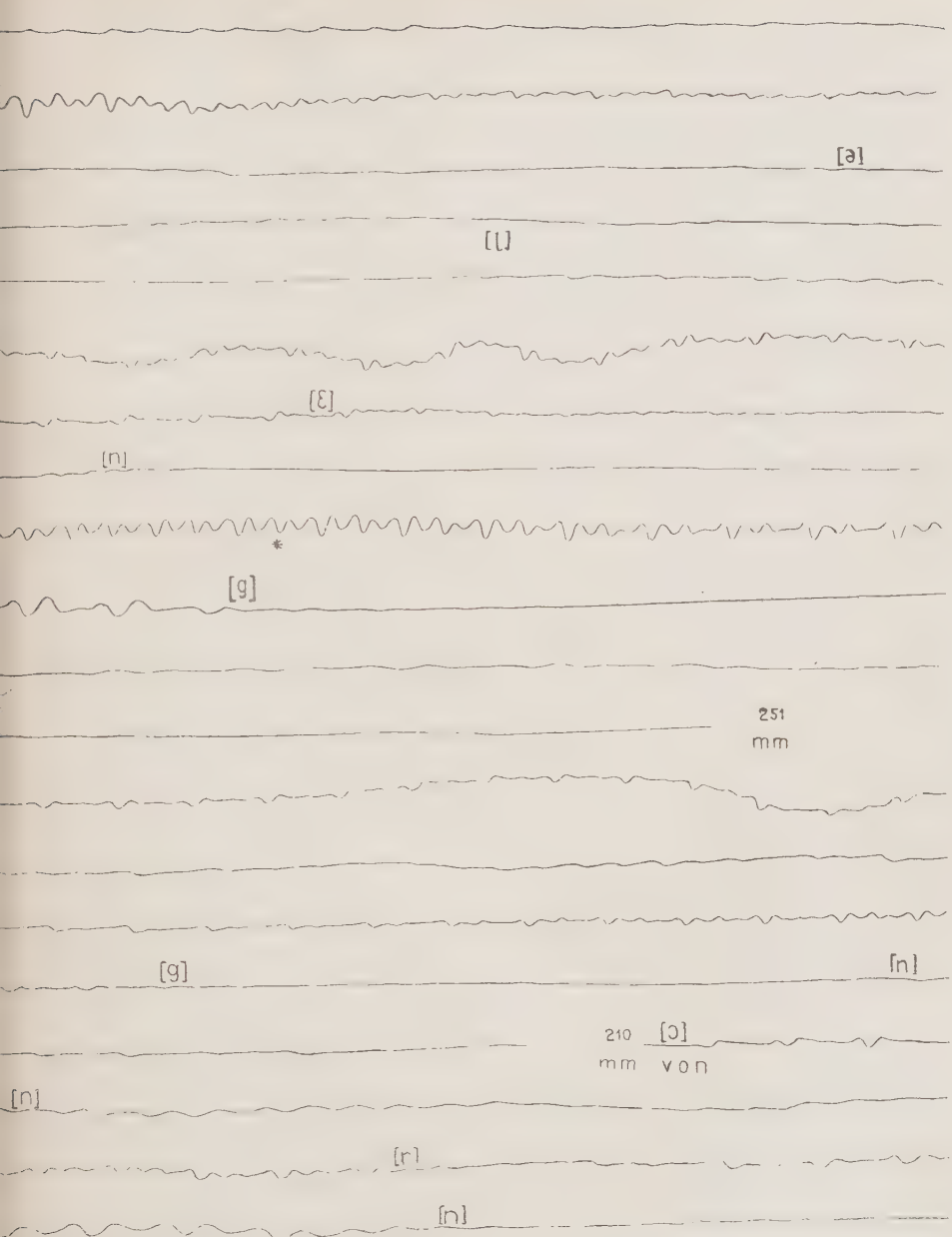


›Mit deinen blauen A

(Zeitgleichung: 1 mm = 0,0007 Sek. Korrektur

Druck und Verlag von

Tafel I.

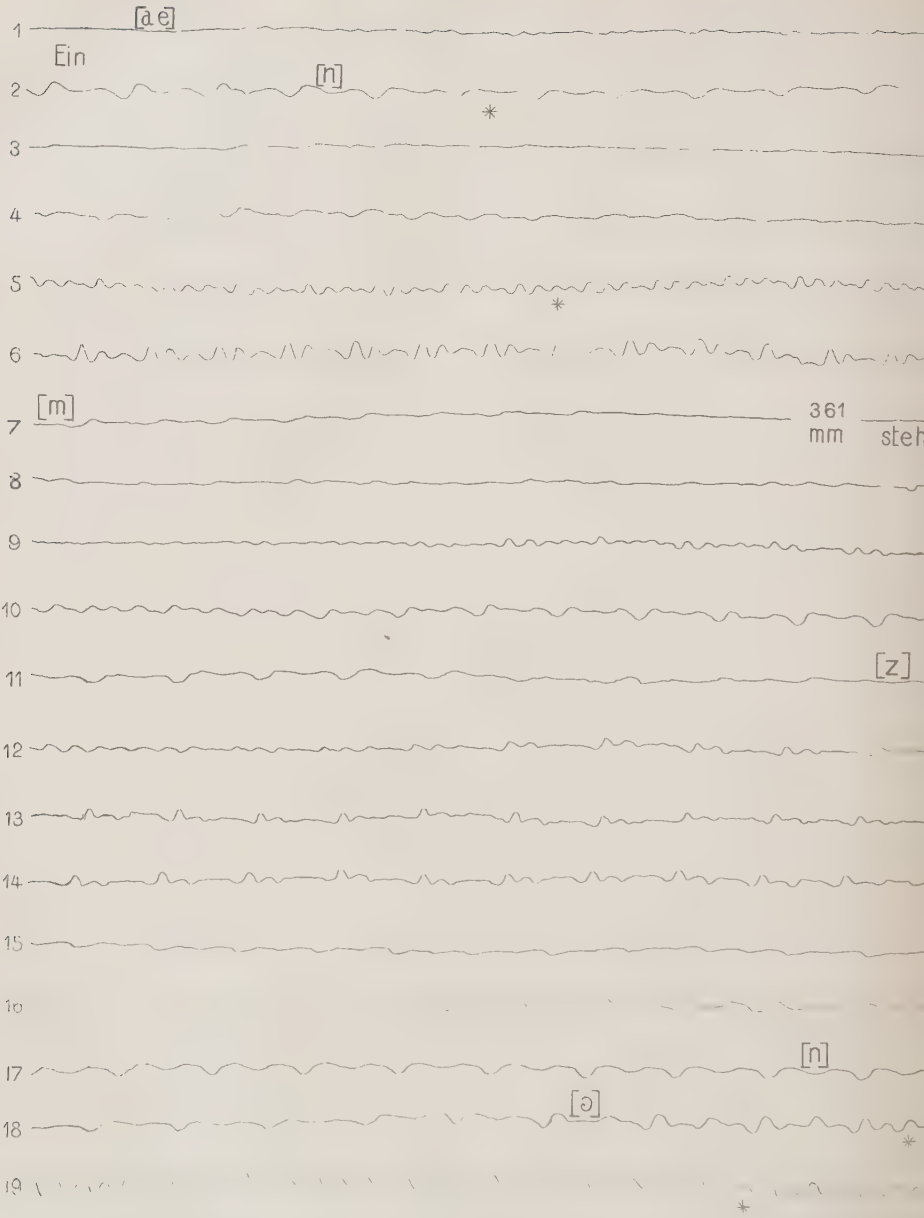


vorgetragen von Herrn —«

[ɐ] statt [aə], Z. 11 [ə] statt [ɛ], Z. 13, 17 [o] statt [ɔ].)

bourg in München u. Berlin.

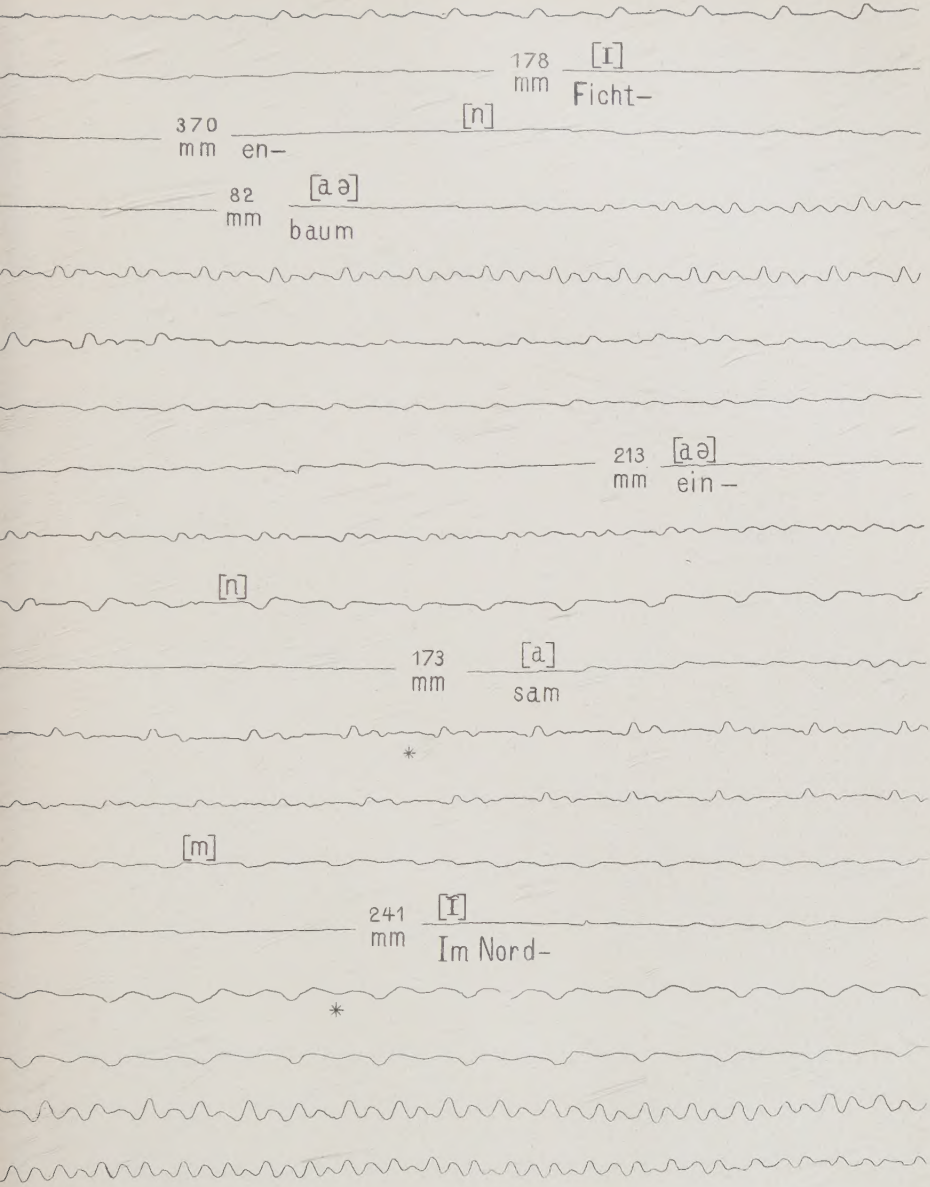
Scripture.



›Ein Fichtenbaum

(Zeitgleichung: 1 mm = 0,0007 Sek. K

Druck und Verlag von



insam Im Nord—«

1: Z. 1 [aɛ̃] statt [ae], Z. 8 [aɛ̃] statt [aə].

ourg in München u. Berlin.